

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE RÔLE DE LA PENSÉE DIVERGENTE DANS L'ÉMERGENCE DU
RAISONNEMENT DÉDUCTIF

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR

PIER-LUC DE CHANTAL

AOÛT 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Henry Markovits, pour son écoute et son encadrement tout au long de mon cheminement au doctorat. Sa grande expérience en recherche aura été pour moi un facteur décisif dans mon apprentissage. Je remercie Sophie, avec qui je partage ma vie, ainsi que mes parents et mes proches, pour leur écoute et leurs encouragements. Je remercie l'équipe formidable du LPR avec qui j'ai eu la chance de collaborer tout au long de mon parcours et sans qui je ne serais pas le chercheur que je suis aujourd'hui. Finalement, je remercie le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada et le Fonds de Recherche du Québec Nature et Technologies pour leur support financier.

DÉDICACE

À la famille qui s'agrandit ... Elliot, Édouard et Sophie

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
Résumé.....	x
CHAPITRE I Introduction au raisonnement.....	1
1.1 Induction et déduction	1
1.2 Logique et héritage de Piaget	4
1.3 Raisonnement conditionnel	5
1.3.1 Modalités d'évaluation	7
1.3.2 Prescription de la logique.....	8
CHAPITRE II Description développementale du raisonnement	11
2.1 Paradoxe dans le raisonnement des enfants et des adultes	11
2.2 Parcours développemental.....	13
2.2.1 Facteur lié à la forme.....	13
2.2.2 Facteurs liés au contenu	17
2.3 Enjeux théoriques liés à l'étude du développement.....	20
CHAPITRE III Approches théoriques et prédictions développementales	23
3.1 Théories de la logique mentale	23
3.1.1 Nature des processus	24
3.1.2 Prédictions développementales	25
3.2 Théorie des modèles mentaux	27
3.2.1 Nature des processus	27
3.2.2 Prédictions développementales	30
3.3 Théorie de la récupération sémantique	32
3.3.1 Nature des processus	32

3.3.2	Prédictions développementales	36
CHAPITRE IV Rôle de la pensée divergente dans le raisonnement		39
4.1	Assises théoriques et empiriques	39
4.2	Pensée divergente	41
4.2.1	Rapport à la créativité	41
4.2.2	Modalités d'évaluation	42
4.2.3	Processus cognitifs sous-jacents	43
4.3	Pensée divergente et raisonnement	45
4.3.1	Parallèle entre les processus	45
4.3.2	Contribution à l'émergence du raisonnement	46
CHAPITRE V Premier article – Problématique et hypothèses de recherche		49
5.1	Problématique	49
5.2	Hypothèses	50
CHAPITRE VI Premier article – The capacity to generate alternative ideas is more important than inhibition for logical reasoning in preschool-age children		51
6.1	Abstract	51
6.2	Introduction	52
6.3	Study 1	56
6.3.1	Method	59
6.3.2	Results and Discussion	63
6.4	Study 2	69
6.4.1	Method	70
6.4.2	Results and Discussion	72
6.5	General Discussion	75
6.6	References	80
6.7	Appendix	89
6.7.1	French verbatim of the tasks	89
6.7.2	Example of category judgments	91
CHAPITRE VII Deuxième article – Problématique et hypothèses de recherche		92

7.1	Problématique	92	
7.2	Hypothèse	93	
CHAPITRE VIII Deuxième article – Divergent Thinking Promotes Deductive Reasoning In Preschoolers			95
8.1	Abstract.....	95	
8.2	Introduction.....	95	
8.3	Study	107	
8.3.1	Method	107	
8.3.2	Results.....	112	
8.4	Discussion.....	121	
8.5	Références.....	127	
CHAPITRE IX Discussion générale et conclusion.....			135
9.1	Discussion des articles	135	
9.1.1	Retour sur le premier article.....	135	
9.1.2	Retour sur le deuxième article.....	137	
9.2	Contexte d'émergence du raisonnement déductif	138	
9.3	Contribution de la pensée divergente	140	
9.3.1	Mécanisme d'amorce de la pensée divergente	141	
9.3.2	Rôle des différences individuelles et de l'originalité	142	
9.4	Contribution de l'inhibition.....	144	
9.5	Conclusion.....	146	
RÉFÉRENCES.....			148

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
8.1 Mean deductive reasoning score by condition (control, DT-examples, DT-free). Error bars represent standard errors	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1.1	Syntaxe des inférences conditionnelles (MP, MT, AC, NA)	6
2.1	Aperçu des taux d'acceptation (%) aux inférences conditionnelles en fonction de l'âge.....	14
2.2	Relations variant selon la quantité de conditions contraignantes (CC) et d'alternatives à l'antécédent (AA) (Cummins, 1995).....	19
2.3	Progression développementale identifiée par Markovits (2014a)	20
3.1	Modèles mentaux selon le type d'interprétation de « si P, alors Q ».....	28
3.2	Éléments compris dans l'espace conceptuel de « si P, alors Q ».....	33
6.1	Mean scores on the Generation task (Fluency, Flexibility), the Inhibition task and the Logical Reasoning Task as a function of order (Order 1, Order 2, Combined)	65
6.2	Correlations between Age (in months) and Generation (Fluency, Flexibility), Inhibition and Logical Reasoning scores.....	68
6.3	Mean number of logically correct responses for the MP inferences, the AC inferences and mean Logical Reasoning score as a function of condition (Generation Prime, Inhibition Prime).....	73
8.1	Percentage of justifications (empirical, premises, alternative antecedents, disabling conditions, "I don't know", others) by inference (MP, AC) and performance (correct, incorrect)	115

8.2	Divergent thinking scores (fluency, flexibility, originality) by condition (DT-examples, DT-free).....	119
8.3	Intercorrelations (age as control variable) between the deductive reasoning score and the divergent thinking scores (fluency, flexibility, originality) by condition (DT-examples, DT-free).....	121
9.1	Synthèse des taux de réponses logiques (%) selon la condition expérimentale.....	139

RÉSUMÉ

Les deux articles présentés dans cette thèse portent le rôle de la pensée divergente dans l'émergence d'une compétence déductive élémentaire chez les enfants d'âge préscolaire. Le raisonnement conditionnel est utilisé comme cadre de référence. Il consiste à tirer des conclusions à partir d'une règle de forme « si P, alors Q » et d'une prémisse mineure. Nous avons examiné particulièrement l'inférence *Modus Ponens* (MP : P est vrai, donc Q est vrai) et l'Affirmation du Conséquent (AC : Q est vrai, donc P est vrai). Le MP est une inférence certaine puisque sa conclusion est nécessaire; il s'agit de la seule conclusion possible. Le AC est une inférence incertaine puisque sa conclusion est seulement possible; elle n'est pas nécessaire et doit être évitée. La capacité à distinguer ces deux inférences est une visée importante des études sur le développement du raisonnement déductif.

Dans le premier article (de Chantal & Markovits, 2017), nous avons évalué la contribution de deux facteurs cognitifs aux performances d'enfants âgés de 3 à 5 ans, soit l'inhibition et la pensée divergente, qui est une composante de la créativité. Ces facteurs découlent de deux théories développementales du raisonnement. Une première étude corrélacionnelle a été réalisée auprès de 32 enfants; chacun a complété une tâche d'inhibition, de pensée divergente et de raisonnement simple. Les résultats ont montré que les performances de raisonnement sont liées à la capacité de pensée divergente, mais pas à l'inhibition. Une deuxième étude a été réalisée auprès de 32 enfants; chacun a reçu aléatoirement la tâche d'inhibition ou la tâche de pensée divergente avant les problèmes de raisonnement. Les résultats ont montré que les performances sont plus élevées après la tâche de pensée divergente qu'après la tâche d'inhibition. Ces deux études suggèrent que la capacité de pensée divergente est plus importante que l'inhibition pour l'émergence du raisonnement déductif.

Dans le deuxième article (de Chantal, Gagnon-St-Pierre, & Markovits, 2019), nous avons étayé la contribution de la pensée divergente et le rôle de l'originalité dans l'émergence du raisonnement. Les résultats du premier article suggèrent que l'habileté à reconnaître l'incertitude de l'inférence AC s'exprime suite à l'administration d'une tâche de pensée divergente. Afin d'investiguer l'hypothèse que cette manipulation implique l'activation d'un processus lié à l'originalité, nous avons administré aléatoirement à 120 enfants d'âge préscolaire l'une des séries d'exercices suivantes avant les problèmes de raisonnement : pensée divergente sans exemples, pensée divergente avec exemples ou génération de préférences (contrôle). Les exemples

avaient pour objectif de diminuer l'activation de la pensée divergente et de l'originalité. Les résultats ont montré que les performances de raisonnement sont meilleures si les exercices de pensée divergente sont présentés sans exemples. De plus, l'originalité des idées était supérieure dans cette condition, ce qui soutient davantage le rôle de la pensée divergente. Ces deux articles mettent en lumière le rôle important de la pensée divergente dans l'émergence d'une compétence déductive.

Mots clés : créativité, déduction, développement; logique; pensée divergente; raisonnement

CHAPITRE I

INTRODUCTION AU RAISONNEMENT

Le raisonnement est l'activité mentale qui consiste à tirer des conclusions et à coordonner des inférences (Moshman, 2004). Cette activité est nécessaire à plusieurs fonctions complexes de l'intellect telles que la pensée critique et l'argumentation (Kuhn, 1993; Mercier & Sperber, 2011). Bien que le développement du raisonnement demeure en ce sens une visée éducative importante, l'habileté à tirer des conclusions et à coordonner des inférences est également essentielle aux fonctions plus élémentaires du quotidien, telles que la prise de décision, la résolution de problèmes et l'apprentissage. La littérature sur la psychologie du raisonnement et son développement s'est construite selon deux directions de recherche parallèles, soit celle portant sur l'induction et celle portant sur la déduction. Ce chapitre décrira ces deux types d'inférences et positionnera ensuite le rôle de la logique dans la thèse.

1.1 Induction et déduction

L'inférence inductive permet de tirer une conclusion à propos d'un principe qui gouverne un ensemble de cas particuliers (Klauer et Phye, 2008). Les formes d'inférences inductives se déclinent sous plusieurs formes. Par exemple, l'induction causale réfère au processus par lequel une relation de causalité entre des événements est inférée à partir des régularités statistiques qui relient ces événements (Buchanan et

Sobel, 2011; Ricco, 2010). Une autre forme d'induction omniprésente dans la pensée au quotidien est la généralisation empirique, contribuant quant à elle à la formation des croyances et à leur révision (Evans, Newstead, et Byrne, 1993). La généralisation empirique implique de raisonner tel que :

Tous les chats que j'ai observés détestent les chiens.

Donc, tous les chats détestent les chiens.

Bien que l'induction occupe un rôle indéniable dans le répertoire des processus servant à raisonner, celle-ci est toutefois contrainte par une limite importante. En effet, une conclusion dérivée de l'induction est possible –ou probable–, mais elle n'est pas un résultat nécessaire puisque l'ajout d'un cas particulier peut être incompatible avec cette conclusion. Par exemple, l'ajout d'une observation telle que « mon chat Teemo aime les chiens » contrevient à la généralisation empirique « tous les chats détestent les chiens ». Les conclusions tirées par induction peuvent donc être révoquées par l'ajout d'information ou suite à l'examen empirique de cas particuliers. Par conséquent, l'inférence inductive est par nature incertaine.

À l'opposé, la déduction est la seule forme d'inférence qui supporte les jugements de certitude (Morris et Sloutsky, 1998; Piaget, 1987a, 1987b; Ricco, 2010). Cette opération consiste à tirer une conclusion qui découle par nécessité de certaines informations –ou prémisses– qui sont supposées être vraies (Leighton, 2004). La déduction implique de raisonner tel que :

Tous les chats détestent les chiens.

Ma voisine a un chat.

Donc, le chat de la voisine déteste les chiens.

La déduction vise ainsi à appliquer un principe général à un cas particulier, contrairement à l'induction qui vise à identifier un principe général à partir d'un ensemble de cas particuliers. La déduction possède deux propriétés qui la différencient de l'induction. La préservation de la vérité en est une première (Copi et Cohen, 1990; Morris et Sloutsky, 1998). Si les prémisses sont supposées être vraies et qu'une conclusion nécessaire en est déduite, alors cette conclusion est vraie elle aussi. Autrement dit, si l'énoncé « tous les chats détestent les chiens » est vrai et qu'il est vrai que « ma voisine a un chat », alors il est aussi vrai que ce chat déteste les chiens. Par conséquent, les inférences déductives peuvent être réalisées à partir de prémisses contre-intuitives, fantaisistes ou qui ne sont pas conformes à la réalité, en autant que ces prémisses soient supposées être vraies pour l'exercice déductif.

Une deuxième propriété de la déduction concerne son caractère monotone. Contrairement à l'inférence inductive dont la conclusion peut être invalidée par l'ajout de cas particuliers, l'inférence déductive est résistante à l'ajout de tels cas puisque sa conclusion est une conséquence nécessaire de prémisses qu'on suppose vraies, nonobstant leur conformité à la réalité. En théorie, la structure logique qui relie les prémisses est suffisante pour réaliser l'inférence et aucun examen empirique n'est requis ou ne peut être utilisé pour révoquer les conclusions tirées (Morris et Sloutsky, 1998). À noter qu'il serait toutefois possible d'argumenter que les prémisses ne sont pas vraies, suite à quoi l'inférence déductive qui s'en suivrait ne serait plus valide. La déduction est donc une méthode puissante, en principe indépendante du contexte et des croyances, qui permet de tirer des conséquences nécessaires à partir d'un ensemble d'information qu'on suppose vrai. Le caractère abstrait de la déduction en fait un outil indispensable au bon fonctionnement du raisonnement mathématique (Morsanyi, McCormack, et O'Mabony, 2017) et est utile au quotidien pour argumenter (voir Mercier et Sperber, 2011). Cette thèse portera exclusivement sur le processus déductif et son développement.

1.2 Logique et héritage de Piaget

La distinction entre les opérations inductives et déductives est utile afin de comprendre la notion de nécessité logique telle que définie par la logique classique (Ricco, 2010). La logique classique est un cadre normatif permettant d'attribuer une valeur binaire quant à la validité des conclusions tirées. Une conclusion valide est celle qui découle par nécessité d'un ensemble d'information et qui est donc certaine, alors qu'une conclusion invalide est celle qui est probable, mais qui demeure par conséquent incertaine. L'induction est donc logiquement invalide alors que la déduction est valide. La nature et le développement des processus permettant la compréhension de la nécessité logique a motivé une quantité impressionnante de recherches expérimentales en psychologie du raisonnement.

Les travaux de Piaget (Inhelder et Piaget, 1955; Piaget, 1987a, 1987b) ont probablement été le principal vecteur à l'essor de la logique dans l'étude du raisonnement. Selon cette approche développementale, la maturité intellectuelle serait caractérisée par une pensée formelle qui suppose l'existence d'un modèle de compétence dans le raisonnement de l'adolescent et de l'adulte, similaire à la logique des propositions. La transition de la pensée concrète de l'enfant aux structures plus complexes de la pensée formelle serait assurée par le développement de l'habileté à coordonner les notions de possibilité et de nécessité logique, tout spécialement lorsqu'il n'y a aucun accès direct à la réalité (Piaget, 1987a, 1987b). À l'issue du développement cognitif, l'adolescent est ainsi susceptible d'acquérir une habileté de raisonnement déductif lui permettant de raisonner logiquement à partir d'énoncés hypothétiques et ce, indépendamment du contexte et de ses croyances.

Selon Piaget, l'émergence de la pensée formelle et l'atteinte d'une compétence hypothético-déductive devrait être associée à une adhésion accrue aux normes de la logique formelle, alors que les jeunes enfants devraient être incapables de coordonner des inférences de sorte à montrer une compréhension de la notion de nécessité logique. Ces prédictions ont été soumises à plusieurs examens expérimentaux à la fois chez l'adulte et l'enfant, lesquels s'inscrivent principalement dans l'étude plus spécifique du raisonnement conditionnel.

1.3 Raisonnement conditionnel

Le raisonnement conditionnel est probablement la forme de raisonnement la plus documentée dans l'étude de la déduction et demeure à ce jour un paradigme expérimental important afin d'examiner comment les enfants et les adultes coordonnent diverses inférences (Evans, Newstead, et Byrne, 1993). Les relations conditionnelles de forme « si P, alors Q » sont employées dans le domaine de la science, des mathématiques et de l'informatique, mais sont également inhérentes à l'expression du langage dans la vie quotidienne. Elles peuvent notamment être utilisées afin d'exprimer des relations causales ou catégorielles, des permissions, des menaces, des obligations ou des définitions. Les énoncés suivants illustrent certains exemples concrets de telles relations conditionnelles (Verschueren, Schaeken, et d'Ydewalle, 2005, traduction libre).

Si un prédateur est affamé, alors il cherchera une proie.

Si un ballon est percé d'une aiguille, alors il explosera.

Si on arrose bien une plante, elle restera verte.

Si une personne boit beaucoup de Coke, alors elle prendra du poids.

Une relation conditionnelle relie deux propositions; la première réfère à un antécédent « P » (p.ex., un prédateur est affamé) et la seconde à un conséquent « Q » (p.ex., le prédateur cherchera une proie). Le raisonnement conditionnel implique de tirer une conclusion à partir d'une prémisse majeure de forme « si P, alors Q » et d'une prémisse mineure qui réfère à l'affirmation ou à la négation de l'antécédent ou du conséquent. La prémisse mineure peut donc prendre une des quatre formes suivantes : « P est vrai »¹; « P est faux »; « Q est vrai »; ou « Q est faux ». En variant la combinaison de la prémisse majeure avec une des prémisses mineures, quatre inférences conditionnelles émergent : le *Modus Ponens* (MP); le *Modus Tollens* (MT); l'Affirmation du Conséquent (AC); et la Négation de l'Antécédent (NA). Leur syntaxe est présentée dans le Tableau 1.1.

Tableau 1.1

Syntaxe des inférences conditionnelles (MP, MT, AC, NA)

Validité	Inférences	Prémisse majeure	Prémisse mineure	Conclusion invitée
Valide	MP	si P, alors Q	P est vrai	Q est vrai
	MT	si P, alors Q	Q est faux	P est faux
Invalide	AC	si P, alors Q	Q est vrai	P est vrai
	NA	si P, alors Q	P est faux	Q est faux

L'inférence MP est réalisée à partir de la prémisse mineure « P est vrai » et consiste à tirer la conclusion « Q est vrai ». L'inférence MT est réalisée à partir de la prémisse mineure « Q est faux » et consiste à tirer la conclusion « P est faux ». L'inférence AC est réalisée à partir de la prémisse mineure « Q est vrai » et invite une conclusion de

¹ Notez que le qualificatif « vrai » fait référence à un état où la proposition a lieu, alors que le qualificatif « faux » réfère à une absence ou à un non-lieu de la proposition.

forme « P est vrai ». Finalement, l'inférence NA est réalisée à partir de la prémisse mineure « P est faux » et invite la conclusion « Q est faux ».

1.3.1 Modalités d'évaluation

La modalité d'évaluation² généralement employée dans l'étude du raisonnement conditionnel consiste à présenter la relation conditionnelle et à demander de supposer que celle-ci soit vraie. Tel que présenté précédemment, il s'agit là d'une composante de la déduction et d'un paramètre essentiel à la compétence déductive. En effet, plusieurs études ont montré que le type d'instruction influence les processus de raisonnement impliqués dans la déduction (p.ex., Daniel et Klaczynski, 2006; Rips, 2001). On présente ensuite une prémisse mineure et la conclusion invitée liée à chacune des inférences conditionnelles. La tâche consiste à indiquer si la conclusion invitée peut être tirée logiquement ou non de l'information présentée. La réponse repose donc sur un choix dichotomique. Chez les jeunes enfants, on questionnera plutôt si la conclusion invitée est certaine ou non.

À noter que l'utilisation de l'équivalent syllogistique de chaque inférence conditionnelle est également très répandu, tout spécialement chez les enfants pour qui l'utilisation de la formulation conditionnelle n'est pas appropriée ou jugée trop complexe au plan langagier. La syntaxe syllogistique diffère par l'ajout d'un « moyen

² Plusieurs autres mesures sont également utilisées dans l'étude du raisonnement conditionnel. Par exemple, la tâche de sélection de Wason (Wason et Johnson-Laird, 1972; Wason et Shapiro, 1971) et les tâches de table de vérité (p.ex., Barrouillet, Gauffroy, et Lecas, 2008). Toutefois, ces tâches couvrent différentes dimensions du raisonnement conditionnel et n'évaluent pas spécifiquement l'habileté à distinguer les inférences certaines et incertaines, qui est l'objet de cette thèse.

terme » dans la forme de chaque inférence, mais cette syntaxe demeure équivalente à l'inférence conditionnelle d'un point de vue formel. Les syllogismes sont spécialement appropriés pour articuler des relations catégorielles entre un antécédent et un conséquent. Par exemple, considérez la relation conditionnelle « si un animal est un chien, alors il a des pattes ». À partir de cette relation, les équivalents syllogistiques dérivés de l'inférence MP et AC seraient les suivants :

MP Tous les chiens ont des pattes.
 Un animal est un chien.
 L'animal a des pattes.

AC Tous les chiens ont des pattes.
 Un animal a des pattes.
 L'animal est un chien.

1.3.2 Prescription de la logique

À ce jour, les réponses aux diverses tâches de raisonnement demeurent évaluées conformément à la logique classique binaire ou selon des dérivés de cette logique (p.ex., la p-validité, Evans, Thompson, et Over, 2015). La logique classique prescrit que le MP et le MT sont des inférences valides, alors que les inférences AC et NA sont logiquement invalides. Afin de mieux comprendre la valeur de chaque inférence au regard de la logique classique, il est utile d'introduire les notions de suffisance et de nécessité associées au type d'interprétation sémantique de la relation conditionnelle.

Une interprétation conditionnelle de la relation « si P, alors Q » implique un rapport de suffisance entre l'antécédent et le conséquent, mais pas un rapport de nécessité, de sorte qu'il est suffisant que l'antécédent soit vrai pour que le conséquent soit vrai (Evans et Over, 2004). Autrement dit, le conséquent peut être vrai si l'antécédent est faux, mais le conséquent ne peut pas être faux si l'antécédent est vrai (Evans, Newstead, et Byrne, 1993). Par exemple, en appliquant ce principe à l'énoncé « si une personne boit beaucoup de Coke, alors elle prendra du poids », la relation signifie qu'il est suffisant qu'une personne boive beaucoup de Coke pour qu'elle prenne du poids. Cependant, boire une grande quantité de Coke n'est pas une condition nécessaire, selon une interprétation conditionnelle de la relation, pour qu'une personne prenne du poids.

Lorsque la relation « si P, alors Q » est interprétée de manière biconditionnelle, soit l'équivalent de « si et seulement si P, alors Q », l'antécédent doit nécessairement être vrai pour que le conséquent soit vrai, et vice-versa. Une interprétation biconditionnelle de l'énoncé précédent impliquerait donc que la consommation d'une grande quantité de Coke est une condition nécessaire à la prise de poids et que la prise de poids signifie nécessairement qu'une grande quantité de Coke a été consommée.

Mais à part certaines formulations pragmatiques comme les permissions, les études en psychologie du raisonnement conçoivent que l'interprétation biconditionnelle des relations de forme « si P, alors Q » est incorrecte. Les conclusions aux inférences MP et MT respectent les principes de suffisance et de nécessité, nonobstant le type d'interprétation de la relation « si P, alors Q ». Ces inférences sont donc des déductions logiques peu importe le type d'interprétation portée par l'enfant ou l'adulte. Or, les conclusions aux inférences AC et NA ne découlent pas logiquement selon une interprétation conditionnelle. L'invalidité de ces inférences peut être démontrée, de

manière triviale, en appliquant les principes de suffisance et de nécessité. Par exemple, considérez l'inférence de forme AC suivante :

Si un ballon est percé d'une aiguille, alors il explosera.

Un ballon explose.

Par conséquent, le ballon a été percé d'une aiguille.

La conclusion tirée « le ballon a été percé d'une aiguille » est invalide puisque celle-ci impliquerait qu'il soit nécessaire de percer un ballon pour que ce dernier explose, ce qui serait conforme à une interprétation biconditionnelle de forme « si et seulement si un ballon est percé d'une aiguille, alors il explosera », mais pas à une interprétation conditionnelle. Puisqu'une relation conditionnelle établit un rapport de suffisance entre l'antécédent et le conséquent, et non un rapport de nécessité, la conclusion de l'inférence AC est invalide. Il est en fait impossible de conclure la cause exacte ayant mené à l'effet et il est donc prescrit de maintenir un jugement d'incertitude quant à la conclusion invitée par l'inférence AC. On pourrait suggérer qu'il soit possible –ou probable– que le ballon ait été percé d'une aiguille, mais on ne peut pas affirmer que cela découle logiquement des prémisses. Notez que cette explication sous-tend également l'invalidité logique de l'inférence NA.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DÉVELOPPEMENTALE DU RAISONNEMENT

Tel que souligné par Ricco (2010), il existe peu de domaines de recherche ayant mené à des résultats aussi paradoxaux et contre-intuitifs que l'étude du raisonnement déductif et de son développement de l'enfance à l'âge adulte. Plusieurs courants de recherche ont clairement montré une apparente incompetence de l'adulte au regard de la logique, alors que d'autres ont exposé une étonnante précocité dans les habiletés de raisonnement des enfants. Ce chapitre présentera une description athéorique de ce paradoxe en introduisant les principaux résultats de la recherche sur le développement du raisonnement. Il sera également question d'une distinction entre deux sources de variabilité dans le parcours développemental du raisonnement déductif.

2.1 Paradoxe dans le raisonnement des enfants et des adultes

Plusieurs études ont montré qu'il peut être difficile, même pour les adultes les plus éduqués, de coordonner des inférences montrant une compréhension de la nécessité logique avec les relations conditionnelles. Les fameux travaux de Wason et ses collaborateurs ont été parmi les premiers à soumettre la thèse de Piaget à l'examen empirique (Wason et Johnson-Laird, 1972; Wason et Shapiro, 1971). Ces études ont montré que les adultes ne comprennent pas la nécessité logique qui découle de l'interprétation conditionnelle d'une relation « si P, alors Q », tout spécialement

lorsque la relation ne possède aucun référent avec la réalité. En contrepartie, d'autres études ont également montré qu'il est difficile pour les adultes de tirer des conclusions qui ne soient pas influencées par leurs connaissances et leurs croyances (p.ex., Cumins, Lubart, Alknis, & Rist, 1991; Evans, Barston, & Pollard, 1983). En ce sens, la capacité à coordonner des inférences logiques et à formuler des jugements de validité indépendamment de l'apport des connaissances empiriques ne semble pas à la portée de la majorité des adultes et serait au mieux circonscrite à certains individus ayant un haut potentiel intellectuel ou aux experts formés en logique. La recherche en psychologie du raisonnement a ainsi révélé que la compétence formelle décrite par Piaget n'est pas une description adéquate du raisonnement des adultes.

À l'opposé, d'autres études ont montré que les enfants acquièrent très rapidement l'habileté à réaliser certaines déductions simples et ce, même lorsque les prémisses font appel à la fantaisie. Par exemple, Hawkins, Pea, Glick et Scribner (1984) ont montré que les enfants de 4 et 5 ans peuvent produire une réponse logique lorsqu'ils sont exposés à un problème déductif similaire au MP (traduction libre) :

Les bangas sont des animaux mauves.

Les animaux mauves éternuent toujours sur les gens.

Les bangas éternuent-ils sur les gens?

Bien que le manque de référent empirique demeure une difficulté pour ces enfants d'âge préscolaire, les performances s'améliorent significativement lorsqu'ils sont encouragés à utiliser leur imagination ou si la tâche est imbriquée dans un contexte fantaisiste (Dias & Harris, 1988, 1990; Dias, Roazzi, O'Brien, et Harris, 2005; Markovits, 1995; Richards et Sanderson, 1999). Ces résultats surprenants ébranlent encore une fois les prédictions initiales de la théorie Piagétienne puisqu'ils montrent que les enfants d'âge préscolaire peuvent raisonner à partir de prémisses contre-intuitives ou irréelles. Toutefois, ces même enfants ont parfois de la difficulté à

simplement reconnaître lorsque les prémisses n'engagent aucune relation logique entre elles (Markovits, Schleifer, et Fortier, 1989) et tendent également à accepter la conclusion invitée par les inférences AC et NA (enfants âgés de 10 ans et plus; O'Brien & Overton, 1982), ce qui suggère que la compétence déductive à l'âge préscolaire demeure incomplète.

En effet, plusieurs auteurs, dont Piaget lui-même, ont argumenté que l'examen d'une compétence déductive chez l'enfant ne doit pas être restreint à l'analyse des déductions logiques, mais doit également inclure une analyse de l'habileté à maintenir un jugement d'incertitude lorsqu'une conclusion ne découle pas logiquement des prémisses (p.ex., Markovits, Schleifer, et Fortier, 1989; Moshman, 2004; Piaget, 1987a, 1987b; Scholnick et Wing, 1988). La notion de *raisonnement* déductif implique donc une coordination entre les inférences certaines et incertaines, contrairement à la notion de *déduction* telle que présentée dans le Chapitre I.

La littérature sur la psychologie du raisonnement témoigne d'une progression développementale importante à partir de l'émergence des premières habiletés à l'âge préscolaire jusqu'au raisonnement plus complexe des adultes. Cette progression peut être caractérisée par deux sources de variabilité, soit celle liée à la forme de l'inférence conditionnelle et celle liée au contenu utilisé pour raisonner.

2.2 Parcours développemental

2.2.1 Facteur lié à la forme

Afin de mieux représenter la variabilité développementale liée à la forme de l'inférence, les taux d'acceptation des conclusions aux quatre formes sont illustrés dans le Tableau 2.1. Ce tableau comprend les résultats de certaines études menées en psychologie du raisonnement au courant des dernières années. À noter que le taux

d'acceptation aux inférences AC et NA correspond au taux de réponses erronées puisque les conclusions invitées à ces inférences doivent être rejetées.

Tableau 2.1

Aperçu des taux d'acceptation (%) aux inférences conditionnelles en fonction de l'âge

Études	Âge	n	MP	MT	AC	NA	
Roberge (1970)	9	57	64	52	81	83	
	11	57	62	47	81	83	
	13	57	89	76	88	95	
	15	57	90	69	66	78	
Wildman et Fletcher (1977)	14	45	87	75	84	82	
	16	116	89	60	78	72	
	18	81	92	59	65	53	
	Adulte	81	95	62	26	51	
Rumain, Connell, et Braine (1983)	Étude 1	10	44	100	96	99	81
		Adulte	24	98	81	54	48
	Étude 2	7	34	96	52	68	57
		10	20	100	70	82	80
		Adulte	24	100	63	65	73
		Adulte	76	100	59	42	52
Markovits (1988)	Adulte	76	100	59	42	52	
Oberauer (2006)	Adulte	343	97	57	44	38	
Markovits, Thompson, et Brisson (2015)	Étude 1	Adulte	235	81	50	46	54

À noter également que l'ensemble du matériel utilisé dans ces études référait à des prémisses dont les propositions « P » et « Q » étaient abstraites ou dont la nature de la

relation conditionnelle était arbitraire. Par exemple, les auteurs ont utilisé des relations conditionnelles telles que « si une personne gleb, alors elle sera branup » (Markovits, Thompsom, et Brisson, 2015) et « si le carré est rouge, alors le cercle est blanc » (Oberauer, 2006). Bien que les études développementales utilisant ce type de prémisse sont peu nombreuses, elles permettent d'isoler précisément l'influence de la forme de l'inférence et d'éliminer l'influence du contenu spécifique des prémisses.

Les taux d'acceptation aux quatre inférences (pour les adultes) peuvent être résumés par la sériation suivante : $MP > MT > AC \geq NA$ (voir également Klauer, Beller, et Hütter, 2010). Comme le montre le Tableau 2.1, les performances varient énormément selon la forme logique de l'inférence. Le taux d'acceptation est constamment plus élevé pour l'inférence MP, lequel se situent près de 100% chez les adultes (à l'exception de l'étude de Markovits, Thompson, et Brisson, 2015). En comparaison avec les autres inférences, le MP est la mieux réussie chez les enfants et ce, peu importe leur âge. Bien que les taux d'acceptation ne soient pas comparables à ceux observés chez l'adulte, cela montre que certains enfants sont capables de réaliser des inférences simples avec un contenu abstrait, ce qui est consistant avec les études préliminaires introduites précédemment (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins, Pea, Glick et Scribner, 1984). De plus, on observe une augmentation marquée du taux d'acceptation de cette inférence pendant l'enfance, ce qui suggère une plus grande aisance à comprendre certaines notions importantes liées à la nécessité logique.

Le patron de réponses lié à l'inférence MT varie considérablement entre les études (50% à 81%) et est donc plus complexe à interpréter. Bien qu'il s'agisse d'une inférence valide, le MT est accepté moins fréquemment que l'inférence MP et ce, peu importe l'âge. Plusieurs approches en psychologie du raisonnement, dont les théories de la logique mentale (Braine, 1990; Braine et O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994) et la théorie des modèles mentaux (Johnson-Laird, 2006; Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), expliquent cette asymétrie soit par la nécessité d'engager des schèmes

d'inférence suivant des étapes complexes, soit par la nécessité de construire une représentation mentale plus exigeante au plan cognitif. Les différences individuelles au plan de la capacité cognitive et de l'habileté à appliquer des schèmes d'inférence complexes seraient donc la principale source de variabilité dans la manière dont les enfants et les adultes raisonnent avec l'inférence MT. À noter que le raisonnement avec l'inférence MT sera abordé dans ce chapitre et les futurs afin de favoriser une compréhension exhaustive, mais il ne sera pas l'objet principal des prédictions développementales de la thèse puisque l'interprétation des réponses à cette inférence demeure ambiguë (Evans, Newstead, et Byrne, 1993; O'Brien et Overton, 1980).

Les performances aux inférences AC et NA sont quant à elles généralement peu différenciables (Evans, 1993). Bien que les adultes présentent des performances supérieures à celles des enfants, ils commettent tout de même un taux relativement élevé d'inférences invalides à ces deux formes (entre 26 et 73%). Comparativement à l'inférence MP, la progression développementale liée aux inférences AC et NA est la plus marquée, bien qu'aucune étude n'ait examiné les performances de raisonnement avec un contenu arbitraire avant l'âge de 9 ans. La nature des processus impliqués dans le raisonnement avec les formes d'inférence invalides constitue donc un objet d'étude important afin de comprendre le développement d'une compétence déductive.

Bien qu'il existe une variabilité développementale liée à la forme de l'inférence, le contenu spécifique utilisé dans les tâches de raisonnement contribue également à une part de variabilité significative. En effet, plusieurs études ont montré que les enfants et les adultes posent des jugements variables sur des inférences dont la syntaxe est identique, mais dont le contenu spécifique de leurs prémisses diffère. Cela suggère que la psychologie du raisonnement n'opère pas uniquement sur la base des relations logiques qui relient les prémisses, mais repose également sur des processus sémantiques (p.ex., Cummins, 1995; Cummins, Lubart, Alksnis, et Rist, 1991).

2.2.2 Facteurs liés au contenu

Les divers effets de contenu comptent parmi les phénomènes les plus robustes en psychologie du raisonnement. Par exemple, plusieurs paramètres sémantiques peuvent influencer l'interprétation de la relation conditionnelle, dont le contexte de la tâche et la perception de suffisance ou de nécessité de l'antécédent à l'endroit du conséquent (Thompson, 1994, 1995, 2000). La présence de contre-exemples est probablement le facteur le plus important contribuant à la modulation de ces perceptions et, par conséquent, contribuant à la modulation des processus de raisonnement avec les relations conditionnelles (Byrne, 1989).

Les contre-exemples se classifient sous deux catégories, soit les alternatives à l'antécédent et les conditions contraignantes (Cummins, 1995; Cummins, Lubart, Alksnis, et Rist, 1991). Une alternative à l'antécédent est un élément qui possède la même relation avec le conséquent de la relation conditionnelle présentée dans la tâche de raisonnement, mais qui n'est pas l'antécédent de cette relation. Une condition contraignante représente quant à elle un élément qui contraint la véracité de la relation conditionnelle. Un tel contre-exemple élimine la relation de suffisance entre l'antécédent et le conséquent. Lorsqu'une condition contraignante est envisagée, l'antécédent n'est donc plus suffisant pour que le conséquent soit vrai puisqu'il existe une condition sous laquelle la relation conditionnelle est fautive ou peu probable.

Si les routes sont glissantes, alors il y aura des accidents de voiture.

Alternative à l'antécédent : Il y a une tempête de neige.

Condition contraignante : Les voitures roulent lentement

Les alternatives à l'antécédent sont liées à la perception de nécessité, alors que les conditions contraignantes sont liées à la perception de suffisance (Verschueren, Schaeken, et d'Ydewalle, 2005). La littérature a ainsi révélé que les alternatives à l'antécédent influencent directement les performances de raisonnement aux inférences AC et NA, alors que les conditions contraignantes influencent principalement les performances aux inférences MP et MT. Cette influence se manifeste de manière similaire lorsque les contre-exemples sont présentés explicitement dans la tâche ou évoqués implicitement par le contenu.

Rumain, Connell et Braine (1983) ont montré qu'une tâche de raisonnement accompagnée d'une alternative à l'antécédent explicite mène à une amélioration significative des performances aux inférences AC (et NA) chez les enfants âgés de 7 à 10 ans, et ce, même lorsque la nature de la relation conditionnelle est arbitraire. Daniel et Klaczynski (2006) ont obtenu des résultats similaires auprès d'enfants âgés de 10 et 13 ans en utilisant un contenu familier. En contrepartie, l'ajout d'une condition contraignante dans le contexte de la tâche diminue le taux d'acceptation des inférences MP et MT (Byrne, 1989), bien que l'effet sur le MP soit généralement plus important que sur le MT (Vadeboncoeur et Markovits, 1999; Janveau-Brennan et Markovits, 1999). Ces résultats indiquent donc que la considération de ces contre-exemples est un aspect déterminant du raisonnement des enfants et des adultes.

La quantité relative de conditions contraignantes et d'alternatives à l'antécédent évoquée implicitement par le contenu de relation constitue également un facteur déterminant dans la manière dont les enfants et les adultes raisonnent (Cummins, 1995; Cummins et al., 1991; De Neys, Schaeken, et d'Ydewalle, 2002; De Neys, Schaeken, et d'Ydewalle, 2003a, 2003b; Janveau-Brennan et Markovits, 1999). Le tableau 2.2 illustre certaines relations conditionnelles tirées d'une étude par Cummins (1995). Plus le nombre potentiel de conditions contraignantes est grand, plus la probabilité de rejeter la conclusion invitée à l'inférences MP (ou MT) augmente. De

manière similaire, la probabilité que la conclusion invitée d'une inférence AC (ou NA) soit rejetée est plus élevée pour les énoncés qui évoquent beaucoup d'alternatives à l'antécédent. Ce phénomène a été documenté à la fois chez les adultes (p.ex., Cummins et al., 1991) et les enfants (p.ex., Janveau-Brennan et Markovits, 1999).

Tableau 2.2

Relations variant selon la quantité de conditions contraignantes (CC) et d'alternatives à l'antécédent (AA) (Cummins, 1995)

Règles	CC	AA
Si Jenny Allume l'air climatisée, alors elle aura froid	Beaucoup	Beaucoup
Si on gratte une allumette, alors elle s'allumera	Beaucoup	Peu
Si Marie saute dans la piscine, alors elle sera mouillée.	Peu	Beaucoup
Si Jonathan se coupe le doigt, alors son doigt saignera.	Peu	Peu

Un dernier facteur de variabilité sous-jacent au développement du raisonnement concerne la nature de la relation entre l'antécédent et le conséquent. Markovits et ses collègues ont observé une progression de la compétence déductive suivant certains stades précis (voir Tableau 2.3, Markovits, 2014a). Lorsque la relation évoque des connaissances catégorielles, les jeunes enfants de 7-8 ans peuvent reconnaître la certitude de l'inférence MP, tout en reconnaissant l'incertitude de l'inférence AC (Markovits et Thompson, 2008; Markovits, Fleury, Quinn, et Venet, 1998). Toutefois, l'habileté à raisonner logiquement avec des prémisses qui réfèrent à une relation causale n'est observée que chez les enfants âgés de 10-11 ans (Janveau-Brennan et Markovits, 1999; Markovits et al., 1998). L'habileté à raisonner logiquement avec des relations causales qui contreviennent à la réalité est quant à elle observée vers l'âge de 13-14 ans (Markovits et Vachon, 1989), alors que l'habileté à raisonner

logiquement avec des relations abstraites est observée vers 16 ans et plus –ou jamais (Venet et Markovits, 2001).

Tableau 2.3

Progression développementale identifiée par Markovits (2014a)

Type de relation	Exemple	Âge
Catégorielle	Si l'animal est un chien, alors il a des pattes.	7-8
Causale	Si on lance une roche dans une vitre, alors elle brisera.	10-11
Contrefactuelle	Si on lance une plume dans une vitre, alors elle brisera.	13-14
Abstraite	Si P, alors Q.	16 et +

2.3 Enjeux théoriques liés à l'étude du développement

Tel que mentionné précédemment, le diagnostic d'une compétence déductive chez l'enfant implique l'habileté à reconnaître lorsqu'une conclusion est certaine, tout en reconnaissant que les conclusions qui ne découlent pas par nécessité sont incertaines. L'étude du raisonnement à partir de relations conditionnelles est probablement le cadre expérimental le plus pertinent pour un tel diagnostic. En effet, la distinction entre les inférences certaines (MP et MT) et incertaines (AC et NA) permet de capturer l'essentiel de la notion de nécessité logique. Toutefois, la recherche sur la psychologie de l'enfant et de l'adulte a montré que l'appréciation de cette notion ne se développe pas uniquement en relation avec la forme, mais qu'elle est également dépendante de certains facteurs liés au contenu.

Les approches théoriques visant à décrire les processus de raisonnement et leur développement doivent pouvoir intégrer une explication de la variation liée à la forme

de l'inférence, tout en considérant l'apport des processus sémantiques dans le traitement du contenu. À noter que la suite de la thèse sera articulée autour de l'habileté à réaliser correctement l'inférence MP et à maintenir un jugement d'incertitude quant à l'inférence AC puisqu'il s'agit probablement de la plus claire manifestation d'une compétence déductive avec un contenu donné (p.ex., Markovits et Lortie-Forgues, 2011). Peu d'attention sera donc portée aux inférences MT et NA.

L'inférence MP est la forme de déduction la plus rudimentaire et est omniprésente dans le raisonnement des enfants. Les enfants âgés de 4 et 5 ans peuvent raisonner adéquatement avec l'inférence MP, et ce, même lorsque le contenu est fantaisiste (p.ex., Hawkins et al., 1984). Toutefois, l'habileté à raisonner correctement avec l'inférence AC lorsque la relation est abstraite ou fantaisiste semble se développer vers l'avènement de l'adolescence (Venet et Markovits, 2001) et demeure même très variable chez les adultes. Il est donc peu probable que les enfants d'âge préscolaire montrent une compétence déductive avec un contenu abstrait.

Le diagnostic d'une compétence déductive varie considérablement selon le contexte et le type de contenu utilisé. Les effets de contenu suggèrent que le raisonnement des enfants et des adultes ne reposent pas exclusivement sur un traitement syntaxique des relations logiques qui relient les prémisses, mais implique un traitement sémantique qui n'adhère pas systématiquement au caractère monotone de la déduction. Le diagnostic d'une compétence déductive, et plus important encore la caractérisation des processus sous-jacents au développement de cette compétence, ne peuvent donc pas être dissociées de la manière dont les enfants utilisent leurs connaissances lorsqu'ils raisonnent.

En effet, malgré la précocité de l'habileté à réaliser l'inférence MP, les performances diminuent lorsque des conditions contraignantes sont envisagées et ne sont pas inhibées (De Neys, Schaeken, et d'Ydewalle, 2005). L'apparition de l'habileté à

raisonner adéquatement avec l'inférence AC varie quant à elle selon l'accessibilité à des alternatives à l'antécédent et le type de relation évoquée par les prémisses. Dès l'âge de 6-7 ans, les enfants peuvent ainsi reconnaître l'incertitude du AC lorsque le contenu des prémisses est familier et implique une relation catégorielle entre les propositions (Markovits, 2000; Markovits et Thompson, 2008; Markovits, Venet, Janveau-Brennan, Malfait, Pion, et Vadeboncoeur, 1996). Toutefois, il n'existe aucune étude ayant systématiquement examiné comment les enfants d'âge préscolaire (soit 4-5 ans) raisonnent avec l'inférence AC dans ce contexte. La thèse vise notamment à combler cette lacune et à documenter l'émergence d'une compétence déductive élémentaire à cet âge. L'examen de l'émergence des habiletés de raisonnement à l'âge préscolaire pourrait également éclairer la nature même de ces processus.

CHAPITRE III

APPROCHES THÉORIQUES ET PRÉDICTIONS DÉVELOPPEMENTALES

Ce chapitre décrira certaines théories les plus influentes en psychologie du raisonnement et permettra d'articuler la structure théorique menant à l'élaboration des hypothèses de recherche examinées dans les articles de la thèse. Les processus psychologiques décrits par ces théories seront brièvement introduits ainsi que certaines prédictions développementales qui en découlent.

3.1 Théories de la logique mentale

Selon les théories de la logique mentale (TLM; Braine, 1990; Braine et O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994), les enfants et les adultes raisonnent de manière à construire des preuves à partir d'un répertoire de schèmes d'inférence. Ces théories ont motivé une quantité importante d'études empiriques, mais ont depuis été abandonnées en faveur d'approches alternatives étant davantage adaptées aux nouvelles découvertes empiriques, dont celles se rapportant à la variabilité liée au contenu des prémisses.

3.1.1 Nature des processus

Selon Braine et O'Brien (1991), le raisonnement à partir de relations conditionnelles opère grâce à trois composantes, soit un répertoire de schèmes d'inférence, un programme de raisonnement permettant d'appliquer ces schèmes à un contexte donné, et une architecture cognitive servant à moduler les considérations pragmatiques et à traduire l'information traitée dans sa forme abstraite. Un aspect important des TLM concerne le degré d'abstraction des schèmes, lesquels sont en fait appliqués à la structure abstraite de l'inférence –autrement dit sa forme– indépendamment du contenu des prémisses. Lorsque l'enfant ou l'adulte traite l'information en mémoire déclarative, celle-ci est transformée en propositions et est soumise à l'examen des schèmes d'inférence.

Le répertoire de schèmes comprend des règles d'inférence élémentaires dérivées de la logique classique, mais qui n'y sont pas équivalentes (O'Brien, 2009; O'Brien et Manfrinati, 2010). En fait, le programme de raisonnement articulé par les TLM est rudimentaire et ne permet pas de produire un argument logique complexe, à moins d'avoir développé des stratégies plus élaborées qui sont le reflet des différences individuelles au plan de l'éducation formelle et de l'expérience (O'Brien, 2009). Ce programme permet plutôt de décrire les inférences usuelles réalisées dans la vie quotidienne et celles permettant la compréhension du discours.

Bien que les TLM ne proposent pas un mécanisme développemental clair, elles soutiennent que le programme de raisonnement est le résultat de l'évolution et des pressions environnementales. En ce sens, les procédures de raisonnement décrites par les TLM exigeraient un investissement cognitif minimal et seraient en partie innées

ou automatisées très rapidement pendant le développement de l'enfant (Braine, 1990; Markovits, 2004).

3.1.2 Prédications développementales

Les TLM expliquent pourquoi les enfants (et les adultes) produisent à un taux élevé l'inférence MP. Cette inférence est équivalente à un schème d'inférence élémentaire dans la théorie de Braine et O'Brien, et devrait donc être appliqué de manière automatique lorsque les propositions de forme « si P, alors Q » et « Q » sont maintenues simultanément en mémoire de travail. L'inférence MP serait donc une forme primitive de raisonnement (Braine, 1990). En contrepartie, aucun schème ne soutient l'inférence AC et celle-ci devraient donc être systématiquement refusée ou jugée comme étant incertaine. Or, la recherche a montré que les enfants, et même les adultes, commettent l'inférence AC dans une variété de contextes.

Selon les TLM, la tendance des enfants à reconnaître la certitude de l'inférence MP, mais à commettre l'inférence AC, est expliquée comme étant la manifestation d'une difficulté à abandonner ou à inhiber certains modes de compréhension du discours de l'interlocuteur (Rumain, Connell, et Braine, 1983). Les jeunes enfants traduiraient correctement une relation « si P, alors Q » selon une interprétation conditionnelle, mais leurs difficultés découleraient de certaines suppositions pragmatiques favorisant une interprétation biconditionnelle de la relation. Les principaux facteurs développementaux permettant de distinguer le raisonnement des enfants et des adultes seraient donc liés la capacité de réguler l'interférence causées par certaines inférences pragmatiques modulant l'interprétation de la relation « si P, alors Q ».

Bien que les théoriciens ayant contribué à l'élaboration des TLM n'aient pas abordé explicitement le rôle de l'inhibition, il s'agit d'un facteur cognitif susceptible d'influencer grandement les processus de raisonnement des enfants. Une analyse similaire à l'impact des inférences pragmatiques concerne la saillance de l'inférence MP dans la structure de la relation « si P, alors Q ». Puisque cette relation suggère fortement la prémisse mineure « P est vrai » et la conclusion « Q est vrai », la difficulté des jeunes enfants avec l'inférence AC pourrait donc être attribuable à une difficulté d'inhibition du schème d'inférence MP. Cette approche est consistante avec l'approche générale véhiculée par Houdé et ses collègues (Houdé, 2000; Moutier, Plagne-Cayeux, Melot, et Houdé, 2006), à savoir que le développement du raisonnement logique est le résultat de la capacité à inhiber les stratégies incorrectes et les réponses intuitives.

De manière consistante avec cette approche, plusieurs études ont montré que la capacité d'inhibition des enfants est limitée, tout spécialement lors de la période préscolaire (Diamond, Kirkham, et Amso, 2002). En fait, l'inhibition se développe de manière importante entre 3 et 6 ans (Carlson et Moses, 2001; Gerstadt, Hong, et Diamond, 1994; Livesey et Morgan, 1991), ce qui permet à ces enfants de réguler progressivement l'interférence causée par la manipulation de plusieurs règles incompatibles (Carlson, 2005; Zelazo, 2006; Zelazo et al., 2003). Considérant que la manifestation d'une compétence déductive avec un contenu familier apparaît vers 6-7 ans (Markovits, 2000; Markovits et Thompson, 2008), il est possible que l'inhibition soit un facteur cognitif déterminant dans l'émergence du raisonnement déductif à l'âge préscolaire.

3.2 Théorie des modèles mentaux

Selon la théorie des modèles mentaux (TMM; Johnson-Laird, 2006; Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), le raisonnement des individus « naïfs »³ s'articule autour de la construction d'une représentation mentale des états possibles qui caractérisent les prémisses d'une inférence. Cette représentation est ainsi utilisée pour réaliser des déductions et porter des jugements de validité.

3.2.1 Nature des processus

La représentation utilisée pour raisonner se manifeste sous la forme de modèles mentaux, soit une série d'états possibles consistants avec les prémisses (Johnson-Laird, 2010). La représentation mentale se construit suivant une procédure contrainte par la mémoire de travail.

La construction de la représentation mentale en mémoire de travail repose initialement sur l'interprétation de la relation « si P, alors Q ». Un individu se représentera différentes possibilités cohérentes avec son interprétation, laquelle peut être modulée par des facteurs pragmatiques et par le contenu des prémisses (voir Byrne et Johnson-Laird, 2009). Afin de représenter plus clairement ce principe, considérons la relation conditionnelle « si Jenny allume l'air climatisée, alors elle aura

³ C'est-à-dire les individus qui n'ont aucune formation en lien avec la logique.

froid ». Cette relation peut être interprétée comme étant une relation conditionnelle ou une relation biconditionnelle de forme « si et seulement si Jenny allume l'air climatisée, alors elle aura froid ». Chacune de ces interprétations est liée à un patron de possibilités différentes (voir Tableau 3.1; notez que le symbole \neg indique que la proposition est fausse). Plus le nombre de modèles à traiter simultanément en mémoire de travail est élevé, plus le processus de raisonnement requiert un investissement cognitif et est modulé par les différences individuelles (Byrne, 2005).

Tableau 3.1

Modèles mentaux selon le type d'interprétation de « si P, alors Q »

Modèles	Forme concrète		Forme symbolique	
<i>Interprétation biconditionnelle</i>				
1	Jenny allume l'air climatisée	Jenny a froid	P	Q
2	Jenny n'allume pas l'air climatisée	Jenny n'a pas froid	\neg P	\neg Q
<i>Interprétation conditionnelle</i>				
1	Jenny allume l'air climatisée	Jenny a froid	P	Q
2	Jenny n'allume pas l'air climatisée	Jenny n'a pas froid	\neg P	\neg Q
3	Jenny n'allume pas l'air climatisée	Jenny a froid	\neg P	Q

Étant donné les contraintes au plan de la mémoire de travail, les enfants et les adultes ne généreront pas automatiquement une représentation exhaustive des modèles, mais formeront plutôt un premier modèle qui se limitera à l'information directement accessible dans la prémisse majeure. Ce premier modèle est appelé modèle initial et représente uniquement la possibilité où l'antécédent et le conséquent sont vrais. Voici la forme d'un modèle initial :

(P) Jenny allume l'air climatisée (Q) Jenny a froid

...

Les trois points de suspension correspondent à un modèle implicite et indiquent qu'il y a des modèles alternatifs au premier, mais que ceux-ci n'ont pas encore été générés. Ces points *mental footnotes* seront remplacés par des modèles explicites à la suite d'un processus appelé le *fleshing-out*. Ce processus impose une charge supplémentaire à la mémoire de travail et permet de générer des modèles additionnels qui demeureront cohérents avec l'interprétation de la prémisse majeure. La génération du modèle initial peut être assimilée à un processus intuitif, alors que le *fleshing-out* relève d'un processus contrôlé (Barrouillet, 2011).

Selon la TMM, le processus de déduction repose donc sur une manipulation mentale des modèles maintenus dans la mémoire de travail. Une inférence est réalisée en combinant la représentation de la prémisse majeure et le modèle de la prémisse mineure. Une conclusion est générée si elle est représentée par au moins un modèle et si elle n'est contredite par aucun autre modèle. Lorsque l'adulte ou l'enfant doit évaluer la validité logique d'une inférence, il compare ainsi les modèles maintenus dans la mémoire de travail à la conclusion qui doit être évaluée. La procédure consiste à chercher des contre-exemples à la conclusion. Autrement dit, on cherche un modèle alternatif qui est cohérent avec les prémisses, mais en opposition avec la conclusion évaluée (Johnson-Laird, 2010). Par exemple, considérons une inférence de forme MP à partir de la règle abstraite « si P, alors Q ». La conclusion «Q » est représentée par le modèle initial « P Q » et n'est contredite par aucun autre modèle et ce, peu importe l'interprétation de la prémisse majeure. Cette conclusion doit donc être acceptée.

La théorie des modèles mentaux explique ainsi pourquoi le taux d'acceptation de l'inférence MP est généralement très élevé peu importe l'âge; cette inférence ne

requiert que le modèle initial « P Q » et n'impose pas une charge cognitive supplémentaire sur la mémoire de travail. Par contre, considérons une inférence de forme AC dont la prémisse mineure est « Q ». Tout comme l'inférence MP, cette prémisse est également représentée par le modèle initial « P Q ». Si un individu raisonne uniquement à partir de ce modèle, il est probable qu'il conclura que l'antécédent « P » est vrai, ce qui est la conclusion invitée à l'inférence AC et une erreur de raisonnement. Toutefois, la prémisse mineure est également représentée par le modèle « $\neg P$ Q ». Ce modèle constitue donc un contre-exemple à la conclusion invitée. En d'autres mots, bien que « Q » soit associé à « P » dans le modèle « P Q », la possibilité qu'il soit associé à « $\neg P$ » peut être envisagée par le modèle « $\neg P$ Q ». La conclusion invitée à l'inférence AC pourra ainsi être rejetée, mais cela nécessite une interprétation conditionnelle complète, sans quoi le modèle « $\neg P$ Q » n'est pas généré. Selon la TMM, le facteur critique permettant de reconnaître l'incertitude de l'inférence AC consiste donc à générer le modèle alternatif « $\neg P$ Q », qui est un contre-exemple à la conclusion invitée.

3.2.2 Prédictions développementales

Afin d'étayer les prédictions développementales de la TMM, Barrouillet et ses collègues (Barrouillet et Lecas, 1998, 1999; Gauffroy et Barrouillet, 2009) ont mené une série d'études positionnant le rôle des contraintes cognitives sur la nature des modèles mentaux produits par les enfants et les adolescents. Les résultats ont montré une tendance développementale dans la nature de l'interprétation d'une règle conditionnelle et dans la capacité à procéder au *fleshing-out*. En utilisant une tâche de table de vérité, Barrouillet et ses collègues ont montré que les enfants de 8-9 ans envisagent uniquement des possibilités cohérentes à une interprétation conjonctive de la relation « si P, alors Q », de sorte que seulement le modèle « P Q » est envisagé.

Une interprétation conditionnelle apparaît vers 15 ans en réponse au développement de la mémoire de travail, permettant ainsi une manipulation simultanée des trois modèles « P Q », « $\neg P \neg Q$ » et « $\neg P Q$ ». L'interprétation biconditionnelle constitue quant à elle une étape intermédiaire.

Une approche développementale à la TMM positionnerait donc la mémoire de travail ou la capacité de traitement de l'information comme étant le principal facteur cognitif responsable de l'émergence du raisonnement déductif. À noter que les tâches utilisées dans les études de Barrouillet portaient exclusivement sur des relations conditionnelles dont la nature était arbitraire et sans référent concret aux connaissances. Or, la théorie ne propose pas un mécanisme clair qui puisse expliquer l'influence du type de relation invoquée par la prémisse majeure. En effet, une étude récente suggère que l'utilisation de prémisses évoquant une relation catégorielle permet à des enfants de 8-9 ans d'identifier les possibilités consistantes à une interprétation conditionnelle (Markovits, Brisson, et de Chantal, 2016).

Cet effet lié au contenu a un impact important sur l'expression d'une compétence déductive. Les enfants de moins de 8 ans peuvent raisonner logiquement lorsque le contenu des prémisses et leurs connaissances permettent de récupérer facilement des contre-exemples (p.ex., Markovits et Thompson, 2008). Or, selon l'approche développementale de Barrouillet, ces enfants devraient en être incapable puisqu'ils ne peuvent générer des possibilités au-delà du modèle initial « P Q ». En apportant quelques modifications à la théorie originale, Markovits et Barrouillet (2002) présentent un cadre théorique qui permet de réconcilier les données développementales, l'influence du contenu et la théorie des modèles mentaux.

3.3 Théorie de la récupération sémantique

La TMM et la théorie de la récupération sémantique (TRS; Markovits et Barrouillet, 2002) convergent sur plusieurs aspects. Par exemple, les deux théories supposent que le raisonnement repose sur la capacité à générer et à manipuler divers modèles mentaux –ou possibilités. De plus, les deux théories supposent l'existence d'un processus de *fleshing-out* dont la fonction consiste à accroître le nombre de possibilités intégrées dans la mémoire de travail. Toutefois, les mécanismes impliqués dans ce processus divergent. Ce qui suit permettra de saisir les convergences et divergences entre les deux théories, en plus d'introduire les notions nécessaires afin d'envisager le rôle de la pensée divergente dans l'émergence du raisonnement déductif.

3.3.1 Nature des processus

La TRS propose que le *fleshing-out* s'exécute de manière à produire des modèles mentaux empreints de sens et dérivés de la mémoire à long terme. La structure de la mémoire sémantique et l'efficacité des processus de récupération de l'information constituent les principaux facteurs cognitifs influençant la nature des modèles intégrés dans la mémoire de travail. Ces facteurs constituent également les pierres angulaires des prédictions développementales.

Le raisonnement est ici conçu comme étant le résultat de l'interaction entre la structure des prémisses et l'information qu'elles évoquent dans la mémoire à long

terme. La TRS envisage la construction d'un modèle initial similaire à celui proposé par la TMM. Plus précisément, les enfants et les adultes se représenteront tout d'abord un modèle simplifié de la relation « si P, alors Q ». Ce qui suit illustre le modèle initial généré, où « --- » représente la nature de la relation (p.ex., causale).

(P) Jenny allume l'air climatisée --- (Q) Jenny a froid

...

Ce modèle permettra l'ouverture automatique d'un espace conceptuel qui comprend l'information en mémoire à long terme associée à la relation entre « P » et « Q ». On distingue l'information qui est ainsi activée par cet espace conceptuel en trois catégories (Markovits, 2004; Markovits et Barrouillet, 2002). Le tableau 3.2 illustre ces catégories et montre des exemples en lien avec la prémisse causale « si Jenny allume l'air climatisée, alors elle aura froid ».

Tableau 3.2

Éléments compris dans l'espace conceptuel de « si P, alors Q »

Syntaxe	Exemples
<i>Éléments complémentaires</i>	
A --- \neg Q	Si on porte un manteau, alors on aura chaud. Si on allume le chauffage, alors on aura chaud.
<i>Éléments alternatifs</i>	
B --- Q	Si on ouvre la fenêtre, alors on aura froid. Si on mange une crème glacée, alors on aura froid.
<i>Éléments contraignants</i>	
P&D --- \neg Q	Si on allume l'air climatisée et porte un manteau, alors on aura chaud. Si on allume l'air climatisée et fait de l'exercice, alors on aura chaud.

La première catégorie comprend les éléments qui sont différents de l'antécédent de la prémisses majeure originale et qui sont liés à la négation du conséquent. Ceux-ci constituent des éléments complémentaires à la relation conditionnelle originale et sont isomorphes au modèle « $\neg P \neg Q$ » dans la TMM. Les deux autres catégories sont quant à elles analogues aux notions de conditions contraignantes et d'alternatives à l'antécédent, lesquelles ont été présentées dans le Chapitre II. Les alternatives à l'antécédent sont similaires au modèle « $\neg P Q$ » selon la TMM.

Lors de la présentation de la prémisses majeure, ces catégories d'information seront automatiquement activées en mémoire à long terme suivant un processus de propagation de l'activation. Toutefois, cette activation demeurera sous le seuil de l'attention et les éléments spécifiques de ces catégories ne seront pas automatiquement intégrés dans la mémoire de travail. Markovits et Barrouillet (2002) suggèrent que la récupération de ces éléments s'exécute de manière à optimiser la pertinence de l'information pour l'activité de raisonnement. Plus précisément, le processus de récupération est orienté par des indices liés à la forme de l'inférence.

Chaque inférence se distingue par leur prémisses mineure, soit « P est vrai » pour l'inférence MP et « Q est vrai » pour l'inférence AC. Celles-ci favorisent l'activation de catégories spécifiques dans la mémoire à long terme. La prémisses mineure constitue donc un indice pour initier le processus de *fleshing-out*. À noter que le rôle de la prémisses mineure diverge de celui postulé par les TLM et la TMM. Selon les TLM, le maintien simultané de la prémisses majeure et mineure en mémoire de travail permet l'examen des schèmes d'inférence et leur application automatique. Selon la TMM, la prémisses mineure est utilisée dans le but de comparer les modèles en mémoire de travail. Selon la TRS, la prémisses mineure est plutôt utilisée afin de

construire une représentation de l'inférence à partir des éléments sémantiques récupérés dans la mémoire à long terme.

La prémisse mineure d'une inférence de forme AC augmente ainsi la probabilité qu'une alternative à l'antécédent soit récupérée et que la conclusion invitée par l'inférence soit rejetée correctement. La prémisse d'une inférence MP augmente quant à elle la probabilité qu'une condition contraignante soit récupérée et que la relation conditionnelle soit mise en doute. Cette dernière possibilité doit donc être inhibée afin de réaliser correctement l'inférence MP. Selon la TRS, une compétence déductive nécessite donc l'inhibition des conditions contraignantes et la récupération d'alternatives à l'antécédent. À noter que l'effet observé des conditions contraignantes est généralement moins important que celui des alternatives à l'antécédent, tout particulièrement lorsque les directives de la tâche soulignent l'importance de supposer que les prémisses sont vraies (Vadeboncoeur & Markovits, 1999).

Afin d'examiner l'influence des facteurs liés à l'efficacité du processus de récupération chez les adultes, Markovits et Quinn (2002) ont évalué l'impact de la vitesse à laquelle des alternatives à l'antécédent sont générées. Les résultats ont montré que les différences individuelles au plan de la vitesse de récupération des possibilités éloignées sémantiquement est le meilleur prédicteur de l'habileté à apprécier l'incertitude de l'inférence AC. Afin d'étayer le rôle de la récupération selon une approche développementale, Markovits, Fleury, Quinn et Venet (1998) ont présenté à des jeunes enfants (7 à 9 ans) et des préadolescents (10 à 12 ans) des problèmes de raisonnement en variant la force d'association entre l'antécédent et le conséquent. Selon la TRS, les prémisses ayant une force d'association élevée entre les propositions devraient contraindre le processus de récupération et provoquer un effet de fixation sur l'antécédent de la relation (Grosset, Barrouillet, et Markovits, 2005; Barrouillet, Markovits, et Quinn, 2002). Par exemple, voici des énoncés catégoriels qui varient quant à leur force d'association :

Association faible Si c'est un réfrigérateur, alors ça a un moteur.

Association élevée Si c'est une voiture, alors ça a un moteur.

Les résultats ont révélé que les jeunes enfants de 7 à 9 ans rejettent plus aisément l'inférence AC lorsque la force d'association entre les termes est faible que lorsqu'elle est élevée. Toutefois, aucune différence n'a été observée dans les performances des préadolescents, ce qui suggère que les processus de récupération des préadolescents soit davantage efficaces, puisqu'ils traitent de manière similaire les deux types de prémisse indépendamment de la force d'association. L'efficacité des processus de récupération est donc un facteur important modulant les performances de raisonnement des enfants et des adultes.

3.3.2 Prédications développementales

La TRS explique comment plusieurs facteurs modulant l'accès aux alternatives à l'antécédent peuvent faciliter l'expression d'une compétence déductive chez les jeunes enfants, tout en contraignant l'expression de cette compétence chez l'adulte. Par exemple, les facteurs se rapportant à la structure de la mémoire sémantique, dont le nombre d'alternatives à l'antécédent, influencent la probabilité que des possibilités soient récupérées pendant le processus de raisonnement. Lorsqu'il y a peu d'alternatives à l'antécédent disponibles en mémoire à long terme, les adultes ont de la difficulté à apprécier l'incertitude de l'inférence AC. Lorsqu'il y a beaucoup de possibilités accessibles, même les jeunes enfants peuvent montrer une compétence déductive, quoi que cet effet soit dépendant de la nature de la relation entre les propositions. En effet, la nature de la relation évoquée par l'énoncé « si P, alors Q » a un impact important sur le développement du raisonnement (voir Tableau 2.3). La TRS explique pourquoi les jeunes enfants raisonnent plus facilement lorsque la

relation évoque des catégories plutôt que la causalité. Selon Markovits (2014a), la transition d'un niveau de contenu à un autre serait assurée, d'une part, par le développement des capacités de récupération, et d'autre part, par un changement dans la représentation du processus de récupération d'alternatives à l'antécédent. L'explication de ce changement est dérivée du modèle de Karmiloff-Smith (1995).

Le modèle de Karmiloff-Smith (1995) propose que les enfants développent d'abord une expertise dans des contextes concrets de manière telle à concevoir aisément des membres alternatifs d'une même catégorie. Avec la maturation et l'expérience, cette représentation du processus se développe afin de former une représentation plus abstraite et complexe. Les enfants de 7-8 ans montrent donc une compétence déductive élémentaire avec les relations catégorielles puisqu'ils sont en mesure d'appliquer la recherche de possibilités à ce niveau d'abstraction. Toutefois, la majorité des enfants de cet âge demeurent incapables de reconnaître l'incertitude d'une inférence AC à partir d'une relation causale puisque cela exige un processus de récupération d'alternatives à l'antécédent plus abstrait.

Selon la TRS, le processus de récupération avec des relations causales s'exécute de manière à produire des catégories *ad hoc*, soit des catégories devant être créées afin d'atteindre un objectif précis (voir Barsalou, 1983, 1985). Par conséquent, le processus de *fleshing-out* s'assimile davantage à un processus de création qu'à un processus de récupération, contrairement au *fleshing-out* de relations catégorielles dont la structure est déjà bien établie dans le réseau sémantique (p.ex., les animaux et les fruits). En fait, les enfants acquièrent très rapidement des catégories rudimentaires et peuvent facilement produire des cas particuliers de ces catégories. La difficulté des enfants âgés de moins de 10 ans à montrer une compétence déductive avec des prémisses causales peut ainsi s'expliquer par une difficulté à générer des éléments d'une catégorie *ad hoc*, tout en maintenant les prémisses en mémoire de travail (Janveau-Brennan et Markovits, 1999; Markovits et al., 1998). À noter cependant que

les enfants de 6-7 ans demeurent sensibles à la manipulation du nombre d'alternatives à l'antécédent lorsque les prémisses utilisées évoquent la causalité (Janveau-Brennan et Markovits, 1999), ce qui suggère que les différences individuelles jouent un rôle dans la transition d'une stade à un autre.

Les études antérieures ont appuyé l'existence d'une compétence déductive chez les enfants de 7-8 ans lorsque le contexte nécessite le traitement de catégories familières (Markovits, 2000; Markovits et Thompson, 2008). La structure de la TRS suggère qu'une telle habileté de raisonnement déductif émergerait à un âge antérieur, soit vers 4-5 ans, mais que celle-ci soit liée aux différences individuelles au plan des habiletés de production sémantique et limitée par la simplicité de la procédure de génération d'alternatives à l'antécédent. L'étude du raisonnement à l'âge préscolaire permet d'examiner les débuts d'une telle procédure. L'enjeu développemental initial consiste à apprendre comment s'engager dans la recherche de contre-exemples qui divergent de la possibilité directement évoquée par la relation « si P, alors Q », ce qui est similaire à la notion de pensée divergente.

CHAPITRE IV

RÔLE DE LA PENSÉE DIVERGENTE DANS LE RAISONNEMENT

Ce chapitre introduira brièvement la notion de pensée divergente et décrira son rôle potentiel dans les processus de raisonnement et dans l'émergence d'une compétence déductive élémentaire au préscolaire. Tout d'abord, les assises empiriques permettant d'envisager la pensée divergente seront clarifiées.

4.1 Assises théoriques et empiriques

Les approches théoriques ayant adressé le développement du raisonnement logique positionnent l'implication de différents facteurs cognitifs. Selon les TLM, l'inhibition serait le principal déterminant à l'émergence d'une compétence déductive, alors que les études initiées dans le courant de la TMM articulent l'importance de la mémoire de travail et de son développement. Ces théories permettent d'expliquer plusieurs phénomènes en lien avec le développement du raisonnement, dont la précocité de l'habileté à réaliser l'inférence MP. Toutefois, elles ne permettent pas de ventiler les différents effets liés au contenu des prémisses. La TRS propose un cadre théorique plus adapté à ces effets. Selon la TRS, le raisonnement des adultes et des enfants serait influencé par l'efficacité des processus de récupération en mémoire à long terme et par le degré d'aisance avec la stratégie de production d'alternatives à l'antécédent. Tel que présenté dans le dernier chapitre (voir Chapitre III), plusieurs

études réalisées par Markovits et ses collègues ont appuyé ce modèle et ses prédictions développementales.

En ligne avec la TRS, certaines études réalisées avec les adultes ont montré une nette tendance à produire explicitement des possibilités alternatives pendant le raisonnement avec des règles conditionnelles (Verschueren, Schaeken, d'Ydewalle, 2005; Verschueren, Schaeken, De Neys, d'Ydewalle, 2004). Bien que tous les adultes ne produisent pas systématiquement des alternatives à l'antécédent lorsqu'ils raisonnent avec des relations conditionnelles causales, cela appuie l'hypothèse selon laquelle une stratégie de production d'information pendant le raisonnement est déterminante pour raisonner correctement. Markovits et Thompson (2008) ont montré que cette stratégie n'est pas innée et que les jeunes enfants apprennent progressivement à coordonner la production de possibilités pour justifier leur raisonnement avec l'inférence AC.

Les résultats ayant examiné l'influence de la mémoire à long terme suggèrent donc l'existence d'un processus de *création* inhérent au raisonnement des enfants et des adultes, lequel s'oppose au caractère monotone de la déduction définie par la logique formelle. Selon la TRS, la création d'information pendant le raisonnement n'est pas considérée comme une indication d'un manque d'habileté logique, mais plutôt comme un phénomène nécessaire au développement d'une compétence logique. La progression d'un niveau développemental à un autre serait ainsi assuré par la maîtrise d'une telle stratégie. L'enjeu développemental à l'émergence d'une compétence logique rudimentaire consisterait justement à apprendre comment s'engager dans la recherche de possibilités simples qui divergent de la possibilité directement évoquée par la relation « si P, alors Q ». Cette notion, en plus des résultats indiquant que l'habileté à générer des idées éloignées au plan sémantique soit important pour le raisonnement, permet d'envisager l'implication d'un processus cognitif important pour la créativité : la pensée divergente.

4.2 Pensée divergente

4.2.1 Rapport à la créativité

La pensée divergente est une notion liée à l'étude de la créativité. Sternberg et Lubart (1996) définissent la créativité comme étant « l'habileté à produire du matériel qui est à la fois nouveau (original et inattendu) et approprié (utile et adapté aux contraintes de la tâche) » (traduction libre, p. 677). Les travaux de Guilford (1956; 1967) constituent la pierre angulaire du courant cognitif et psychométrique dans l'étude de la créativité et de la pensée divergente.

Le modèle de Guilford sur la structure de l'intellect distingue deux facteurs contribuant à la production des idées. Il identifie les facteurs liés à la pensée convergente, soit une forme de pensée orientée vers la recherche d'une seule réponse ou idée finale (voir Cropley, 2006), et ceux liés à la pensée divergente, soit une forme de pensée cherchant plutôt à générer plusieurs possibilités et à produire des idées orientées dans plusieurs directions (Guilford et Christensen, 1973; Runco, 2010). La pensée divergente permet d'alterner entre diverses perspectives et de dévier des réponses usuelles (Cropley, 2006). Ainsi, la créativité est principalement soutenue par les opérations de production divergente (Guilford, 1967). Bien que le modèle de Guilford ait été abandonné –en grande partie– au plan expérimental dans les recherches actuelles sur la créativité, on observe toujours un grand intérêt pour l'étude de la pensée divergente. Il est important de noter que la pensée divergente n'est pas un synonyme de la créativité, mais que cette forme de pensée peut-être conçue comme étant une estimation du potentiel créatif (Runco, 2010; Runco et Acar, 2012). À ce

jour, la pensée divergente demeure un candidat important pour expliquer le type de cognition sous-jacente à la créativité.

4.2.2 Modalités d'évaluation

Plusieurs mesures utilisées dans les études sur la pensée divergente sont directement issues, ou adaptées, des travaux de Guilford et de la batterie de test de Torrance (TTCT; 1974, 2008). On distingue les mesures figurales et verbales, mais seulement les secondes seront présentées dans la thèse. Les mesures verbales impliquent de générer plusieurs idées différentes à partir d'un stimulus initial. Ces mesures sont simples à administrer et peuvent généralement être utilisées avec les adultes et les enfants de plus de 6 ans.

Les tâches d'usages alternatifs (Guilford, 1956; Kaufman, Plucker, et Baer, 2008; Torrance, 1974, 2008; Wallach et Kogan, 1965) sont parmi les mesures verbales les plus répandues. Ces tâches requièrent de l'enfant ou de l'adulte de générer plusieurs utilisations alternatives d'un objet de la vie quotidienne (p.ex., une brique ou des ciseaux). Wallach et Kogan (1965) ont également utilisé une tâche d'instances avec les jeunes enfants, laquelle est similaire aux usages alternatifs, mais requiert de générer des éléments qui partagent une propriété donnée (p.ex., les objets ronds ou les objets qui font du bruit). Notez que le degré d'interchangeabilité de ces mesures et leur validité convergente demeure une question controversée et une critique souvent adressée à la recherche sur la pensée divergente (Almeida, Prieto, Ferrando, Oliveira, et Ferrándiz, 2008; Clapham, 2004; Kuhn et Holling, 2009; Silvia, 2011). Bien que plusieurs approches psychométriques aient été développées afin de qualifier les idées produites dans les tâches de pensée divergente (p.ex., Silvia, 2011; Silvia et al., 2008;

Snyder, Mitchell, Bossomaier, et Pallier, 2004), celles-ci sont traditionnellement évaluées selon trois paramètres, soit la fluidité, la flexibilité et l'originalité.

La fluidité réfère à la quantité d'idées générées et nécessite peu de transformations au-delà des données collectées. Par conséquent, cette dimension est probablement la plus utilisée et est parfois employée comme unique indicateur. Ce paramètre explique une part importante de la variance dans les tâches de pensée divergente (Plucker et Renzulli, 1999) et est important au plan conceptuel puisqu'un grand éventail d'idées générées augmente la probabilité que certaines d'entre elles soient originales (Eysenck, 1995; Mednick, 1962). Les deux autres paramètres, soit la flexibilité et l'originalité, sont employés afin d'apporter un regard qualitatif sur la nature des idées générées. La flexibilité réfère à l'étendu des catégories ou concepts couverts par les idées (voir Runco, 1985), alors que l'originalité est habituellement estimée par la rareté statistique des idées ou leur caractère idiosyncratique (Hocevar et Michael, 1979; Wallach et Kogan, 1965).

4.2.3 Processus cognitifs sous-jacents

Comprendre la nature des processus cognitifs impliqués dans la pensée divergente et dans la production d'idées originales demeure une visée importante des études empiriques actuelles. On distingue deux principaux modèles, soit le modèle associationniste et le modèle du contrôle exécutif. Ce qui suit introduira brièvement ces deux approches.

La pensée divergente a d'abord été abordée sous l'angle de l'approche associationniste (Mednick, 1962; Wallach et Kogan, 1965). Selon cette approche, la production divergente est soutenue par une diffusion automatique de l'activation en mémoire

sémantique. Autrement dit, les idées fortement associées au stimulus sont générées initialement et la diffusion de l'activation permet ensuite de récupérer les idées plus distantes dans le réseau sémantique. Cette diffusion s'opère relativement automatiquement et les différences individuelles au plan de la pensée divergente s'expliquent principalement par une différence dans la structure de la mémoire sémantique. La structure de la mémoire des enfants et des adultes ayant une habileté de pensée divergente élevée est telle que le degré de connexion entre les idées étroitement reliées sur le plan sémantique est faible, alors que le degré de connexion entre les idées distantes est élevé. Ces derniers sont ainsi en mesure de générer plus facilement des idées éloignées sur le plan sémantique, et donc, des idées originales.

La seconde approche positionne plutôt le contrôle exécutif comme étant le principal déterminant au processus de pensée divergente. Cette approche souligne l'importance de la gestion des interférences et des stratégies de récupération pour la pensée divergente, mais n'occulte pas complètement le rôle de la structure associative de la mémoire sémantique. Les enfants et adultes créatifs (en terme d'originalité) se distinguent des ceux moins créatifs par l'utilisation de processus contrôlés pendant la tâche, alors que la structure de leur mémoire sémantique expliquerait une part moindre de la variabilité (Beaty et Silvia, 2012; Beaty, Silvia, Nusbaum, Jauk, et Benedek, 2014; Benedek, Jauk, Sommer, Arendasy, et Neubauer, 2014; Nusbaum et Silvia, 2011). Gilhooly, Fioratou, Anthony, et Wynn (2007) ont observé une tendance initiale à l'adoption d'une stratégie de récupération permettant de récupérer l'information fortement associée en mémoire. Les stratégies impliquant la création de catégories *ad hoc* et permettant la production d'idées plus originales seraient adoptées plus tard dans le processus et après avoir épuisé les idées tirées directement de la mémoire sémantique.

La pensée divergente repose donc sur l'interaction entre la structure associative de la mémoire sémantique et est facilitée par l'utilisation de processus exécutifs. Beaty,

Kenett, Hass et Schacter (preprint; 2019) ont montré que les tâches d'usages alternatifs portant sur des stimuli dont le réseau sémantique évoque une grande quantité d'information contraignent l'originalité des idées puisque davantage de ressources cognitives doivent être déployées pour gérer l'interférence avec les idées fortement associées. Cet effet serait par ailleurs modéré par les différences individuelles au plan des capacités cognitives. L'habileté à inhiber l'information non pertinente, à exercer une récupération sélective et à contrôler l'attention favorise la production d'idées originales (Beaty et Silvia, 2012). L'habileté à alterner d'une catégorie sémantique à une autre (Nusbaum et Silvia, 2011) et à maintenir un indice de récupération lors de la tâche semblent également soutenir la pensée divergente (Beaty et al., 2014).

4.3 Pensée divergente et raisonnement

4.3.1 Parallèle entre les processus

La nature des processus de raisonnement articulés par la TRS s'apparente fortement à la nature des processus de pensée divergente (Markovits et Brunet, 2012; Markovits, 2014a). En effet, le raisonnement des enfants et des adultes est conçu comme étant un processus de production sémantique dont l'objectif consiste à diverger des prémisses et à produire des idées nouvelles qui ne sont pas explicitement présentées dans le contexte de la tâche. La récupération d'alternatives à l'antécédent et la production d'idées originales par la pensée divergente semblent toutes deux contraintes par les mêmes paramètres, soit la structure de la mémoire sémantique et l'efficacité des processus cognitifs impliqués dans la génération des idées. Par exemple, l'étude de Beaty et ses collègues (2019) reflète un effet similaire à celui du nombre d'alternatives à l'antécédent sur le raisonnement. De plus, il existe un parallèle

important entre les tâches de pensée divergente et les tâches de génération d'alternatives.

Les tâches de génération d'alternatives impliquent de produire le plus grand nombre d'alternatives à l'antécédent possible pour une relation « si P, alors Q » donnée. Ces tâches peuvent être utilisées afin d'élaborer le matériel expérimental (p.ex., Cummins, 1995) ou pour évaluer l'efficacité du processus de récupération. Plusieurs études ont notamment montré la fluidité du processus de génération observé dans de telles tâches est liée à l'habileté des enfants et des adultes à reconnaître l'incertitude de l'inférence AC (De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2003b; Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Verschueren, Schaeken, De Neys, & d'Ydewalle, 2004). Bien que l'originalité des idées ne soit pas examinée dans ces tâches, cela renforce les assises conceptuelles permettant d'inclure la notion de pensée divergente dans la compréhension des processus de raisonnement.

4.3.2 Contribution à l'émergence du raisonnement

Les enfants d'âge préscolaire montrent qu'ils peuvent s'engager dans une forme de pensée divergente (Bijvoet-van den Berg et Hoicka, 2004; Lloyd et Howe, 2003), bien que les stratégies déployées demeurent peu complexes. Comment cette pensée divergente contribue-t-elle à l'émergence des premières habiletés de raisonnement? Les enfants de 6 ans peuvent apprécier l'incertitude de l'inférence AC et montrer une compétence déductive élémentaire lorsqu'une alternative à l'antécédent est explicitement introduite dans le contexte de la tâche (Markovits et Thompson, 2008). Cela témoigne d'une sensibilité précoce à ces possibilités, mais les enfants de cet âge demeurent incapables de déployer une stratégie leur permettant de *produire* des alternatives à l'antécédent pendant qu'ils raisonnent. Cela expose l'enjeu

développemental important à cet âge, soit de recourir à la pensée divergente pendant le raisonnement. Les jeunes enfants possèdent une capacité de pensée divergente, mais ne semblent pas en mesure d'y recourir afin de produire des possibilités implicites au contexte de raisonnement et distinctes de celle évoquée directement par la relation « si P, alors Q ».

La recherche sur la pensée divergente a identifié qu'il peut être difficile pour les adultes et les enfants de s'écarter d'une idée qui est présentée explicitement dans la tâche et de produire des alternatives originale à celle-ci (Agogué et al., 2014; Cassotti et al., 2016; Marsh, Landau, et Hicks, 1996; Smith, Wards, et Schumacher, 1993). Cet effet de fixation est similaire aux contraintes imposées sur le processus de récupération lorsque l'antécédent de la relation « si P, alors Q » est fortement associée au conséquent (voir Chapitre III). Certains théoriciens évoquent en ce sens que la pensée divergente emprunte un chemin de la moindre résistance (*path of the least resistance*, Ward, 1994; Ward et Kolomyts, 2010). Les processus contrôlés permettent notamment de moduler cet effet et de produire des idées originales.

Ayant des ressources cognitives limitées et peu d'expérience avec le processus de génération, les enfants d'âge préscolaire pourraient avoir de la difficulté à résister au chemin de la moindre résistance dans le contexte de raisonnement, ce qui mènera à une considération accrue de l'antécédent « P », au dépend des alternatives disponibles en mémoire à long terme. Cela pourrait expliquer la difficulté des jeunes enfants d'apprécier l'incertitude de l'inférence AC, même lorsque les prémisses nécessitent le traitement de catégories sémantiques simples. Les différences individuelles au plan de la pensée divergente au préscolaire pourraient donc être associées à l'émergence d'une compétence déductive élémentaire.

Un dernier parallèle permettant d'envisager un rôle de la pensée divergente dans le raisonnement déductif et son développement concerne l'influence d'une activité de

génération préalable au raisonnement. En effet, certaines études ont montré qu'encourager la production d'idées par des tâches de génération d'alternatives mène à une amélioration des performances de raisonnement chez les enfants (Markovits, 2014b; Markovits et Brunet, 2012; Markovits et Lortie-Forgues, 2011), quoi que ces effets soient limités à certains contenus particuliers.

CHAPITRE V

PREMIER ARTICLE – PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

5.1 Problématique

Une quantité importante d'études ont examiné la psychologie du raisonnement déductif à l'enfance et à l'âge adulte. Malgré l'importance de la déduction pour l'activité cognitive et le fonctionnement au quotidien, il existe peu de consensus quant à la nature des processus permettant son développement. Une compétence déductive est définie ici comme étant l'habileté à réaliser l'inférence MP et à reconnaître l'incertitude de l'inférence AC pour une même prémisse majeure. Cet article vise à documenter l'existence d'une compétence déductive chez les enfants d'âge préscolaire avec un contenu catégoriel, en plus d'examiner les facteurs cognitifs contribuant à l'émergence de cette compétence. De plus, aucune étude n'a examiné explicitement l'inférence AC à cet âge. Ce premier article permettra donc de combler cette lacune.

Selon une approche dérivée des TLM (Braine, 1990; Braine et O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994), l'habileté à apprécier l'incertitude de l'inférence AC devrait être associée à la capacité d'inhibition. Selon la TRS (Markovits et Barrouillet, 2002), la principale composante cognitive responsable de l'émergence du raisonnement impliquerait plutôt une forme de pensée divergente, laquelle permettrait de produire des alternatives à l'antécédent.

5.2 Hypothèses

L'article comprend deux études distinctes. La première vise avant tout à documenter les patrons corrélationnels entre le raisonnement logique, la capacité d'inhibition et la capacité à générer des idées alternatives dans une tâche de pensée divergente. Les paramètres de la pensée divergente examinés sont la fluidité et la flexibilité. L'hypothèse est que les performances de raisonnement logique seront plus fortement associées à la pensée divergente qu'à l'inhibition. La seconde étude vise ensuite à renforcer l'importance relative de la pensée divergente par l'emploi d'un devis expérimental. L'hypothèse est que les performances de raisonnement logique seront plus élevées suivant l'engagement dans la tâche de pensée divergente que suivant l'engagement dans la tâche d'inhibition.

À noter que l'article réfère à la capacité de produire des idées alternatives, plutôt qu'à la pensée divergente, mais le parallèle entre les deux est décrit à quelques reprises. Le lecteur doit donc interpréter la capacité à produire des idées alternatives dans le contexte de l'article comme référant à la pensée divergente.

CHAPITRE VI

PREMIER ARTICLE – THE CAPACITY TO GENERATE ALTERNATIVE IDEAS IS MORE IMPORTANT THAN INHIBITION FOR LOGICAL REASONING IN PRESCHOOL-AGE CHILDREN

6.1 Abstract

There is still little consensus about the nature of logical reasoning, and equally important, about how it develops. To address this question, we looked at the early origins of deductive reasoning in preschool children. We examined the contribution of two factors to the reasoning ability of very young children: inhibitory capacity and the capacity to generate alternative ideas. In a first study, a total of 32 preschool children were all given generation, inhibition and logical reasoning measures. Logical reasoning was measured using knowledge-based premises such as “All dogs have legs”, and two different inferences: *Modus Ponens* and Affirmation of the Consequent. Results revealed that correctly reasoning with both inferences is not related to the measure of inhibition, but is rather related to the capacity to generate alternative ideas. In a second study, 32 preschool children were given either the generation or the inhibition task before the logical reasoning measure. Results showed that receiving the generation task beforehand significantly improved logical reasoning compared to the inhibition task given beforehand. Overall, these results provide evidence for the greater importance of idea generation in the early development of logical reasoning.

6.2 Introduction

Deductive reasoning plays a role in many of our cognitive activities and is necessary in order to understand mathematics and science. Logical deduction involves the ability to draw a valid conclusion that can be derived necessarily from the information at hand and to distinguish valid from merely possible conclusions. There is a large body of research that has looked at logical deduction, both in children and adults. Despite its importance, there is still little consensus about the nature of logical reasoning, and equally important, about how it develops and what are the mechanisms behind this development. In the following studies, we examine the early beginnings of the ability to make logical deductions in 3- to 5-year olds.

Specifically, we look at an elementary form of deductive reasoning analogue to conditional reasoning. Conditional reasoning is perhaps one of the most intensely studied forms of deductive reasoning (Evans, Newstead, & Byrne, 1993). It involves making inferences on the basis of a major premise of the form “If P then Q” and a minor premise that either asserts or denies the antecedent (P) or the consequent (Q) term. This gives rise to four distinct inferences. One of these is the *Modus Ponens* (MP), which uses the premises “If P then Q. P is true.” and leads to the logically valid conclusion “Q is true”. The *Modus Tollens* (MT) uses the premises “If P then Q. Q is false.”, and leads to the logically valid conclusion “P is false”. The Affirmation of the Consequent (AC) uses the premises “If P then Q. Q is true.” and leads to the logically invalid conclusion “P is true”. Finally, the Denial of the Antecedent (DA) uses the premises “If P then Q. P is false.” and leads to the invalid conclusion “Q is false”. Neither the AC nor the DA inferences lead to logically valid conclusions because they are uncertain given the premises.

There are relatively few studies that have examined conditional reasoning in very young children. Among these studies, some have shown that even preschool children are often capable of making logical inferences with the MP inference or the syllogistic equivalent “All P are Q. R is P. Therefore R is Q.” (e.g., Dias & Harris, 1988). This is consistently the case for premises that are believable or for nonsense premises (Hawkins, Pea, Glick, & Scribner, 1984), although young children do have difficulty in making the MP inferences with premises that are unbelievable (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins et al., 1984). However, when these are embedded into some kind of fantasy or imaginary context, this difficulty disappears (Dias & Harris, 1988, 1990; Dias, Roazzi, O'Brien, & Harris, 2005; Markovits, 1995; Richards & Sanderson, 1999). Studies have also consistently shown that young children tend to erroneously accept the AC (and DA) inference as well (see O'Brien & Overton, 1982). In fact, developmental changes in conditional reasoning are primarily characterized by a decrease in the rate of acceptance of the uncertain conclusions. However, this is also moderated by strong content effects (for an overview, see Markovits, 2014a). Even young elementary school-age children can, with appropriate content, correctly reject the AC inference (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008). In a similar vein, Romain, Connell, & Braine (1983) found that when the effects of implicit pragmatic inferences are undone by presenting explicit information, performance on the AC (and DA) inference improves significantly among elementary school children.

These basic results have been interpreted in two very different ways. On the one hand, some theories of reasoning consider that logical reasoning is essentially algorithmic and rule-based (Braine, 1990; Braine & O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994). These posit that even young children have access to a basic set of rule schemas, which in turn are used to draw deductive inferences. Thus, it has been claimed that young children should have access to the syntactic rules of inference underlying certain simple inferences (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins et al., 1984; Romain et al.,

1983). Within this theoretical framework, difficulties in making these inferences are explicable by some form of inhibitory failure. Failure to make logically correct inferences has been ascribed to an inability to inhibit implicit pragmatic influences that can alter the interpretation of conditional rules. A similar analysis would start from the well-known fact that the MP inference is both the easiest to make correctly among adults, and is the earliest form of inference consistently found in very young children (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins et al., 1984). Given that the major premise in a conditional syllogism (i.e., “If P then Q”) or equivalent clearly suggests the truth of the MP inference (i.e., “P is true, therefore Q is true”), the difficulty in correctly responding to the AC inference could be a result of a difficulty in inhibiting the suggested MP inference schema. In either case, such an approach would suggest that young children have a basic logical capacity, but that failure to inhibit other forms of information or resist salient inferences would make deploying this capacity difficult.

There is clear evidence that limited inhibitory capacity and poor monitoring of conflicting information are important factors in the cognitive difficulties of preschool children. When unaided, preschool children have trouble inhibiting the most salient response or information at hand (Diamond, Kirkham, & Amso, 2002). Studies have indeed shown a striking increase in children's inhibitory capacity between the age of 3 and 6 (Carlson & Moses, 2001; Diamond & Taylor, 1996; Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994; Livesey & Morgan, 1991). This is in turn consistent with the observation that unaided logical reasoning with both MP and AC inferences does not clearly appear until around 6 or 7-years of age (Markovits & Thompson, 2008).

However, there is another approach to young children's logical abilities, which suggests a second important factor. Specifically, there is increasing evidence that a key component of logical reasoning is the ability to generate information not directly contained in the reasoning problem. Piaget's (1987a, 1987b) later formulation of

cognitive development already emphasized the interaction between logical necessity and the ability to generate “possibilities” (see also Gauffroy & Barrouillet, 2011). Similarly, a key component of mental model theories of reasoning is the ability to generate alternative models (Johnson-Laird, 2006; Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002; Markovits & Barrouillet, 2002).

We can understand this best within a mental model framework. Young children tend to accept all four inferences when content is not appropriate (Markovits, 2000), which corresponds to a biconditional set of models:

P	Q
not-P	not-Q

Each row refers to a possible situation that is consistent with the premises. The key difference between biconditional and conditional models is the incorporation of a third model, which corresponds to the last row:

P	Q
not-P	not-Q
not-P	Q

Such a model corresponds to an alternative antecedent (i.e., cases of A implies Q, where A is an example of not-P). For example, given the premise “If a rock is thrown at a window, the window will break”, throwing a chair at a window is an example of such an alternative. Markovits & Barrouillet (2002) suggested that the incorporation of alternative models could be understood as a form of information generation. A key component of this process is the idea that information about alternative antecedents is constrained by the associative structure of information related to the premises (Quinn & Markovits, 1998). A significant component of individual differences in the ability

to respond correctly to the uncertain inferences (AC and DA) is the ability to generate alternative antecedents that are only weakly associated to the consequent term (Markovits & Quinn, 2002). It should also be noted that this approach is similar to Byrne's (2005) analysis of the rational imagination, although there are differing details.

Critically, information about alternative antecedents is not explicitly contained in the premises, but must be generated during the reasoning process. Thus, such an approach suggests that a key component of logical reasoning with AC (and DA) inferences rest upon the ability to generate additional information that is not directly presented in the premises. In other words, a key unresolved question is whether the beginnings of logical reasoning is more strongly related to the ability to generate alternative ideas or to the ability to inhibit information. The main aim of these studies was thus to examine the comparative relation between idea generation and inhibition in the early development of logical reasoning. Finally, it is important to note that in the following studies, we define logical reasoning as being the ability to both accept the MP inference and reject the AC inference for the same major premise (in line with previous studies, e.g. Markovits & Lortie-Forgues, 2011).

6.3 Study 1

Previous studies have shown that children of 6- to 7-years of age are capable of simple logical reasoning when familiar category-based premises are used (e.g., "If an animal is a dog, then it has four legs"); although at a fairly low level (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008). This suggests that the beginnings of the ability to reason logically could be found at an earlier preschool level using familiar content. Most studies conducted with preschool children have assessed deductive reasoning

through responding to logically certain inferences equivalent to the MP inference (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins et al., 1984; Richards & Sanderson, 1999). Understanding the MP inference requires the ability to accept the major premise as true, which is an important component of logical reasoning. However, basic deductive reasoning also requires the ability to distinguish between valid and invalid conclusions. The simplest measure of this latter is given by the ability to reject the AC inferences. Thus, as has been previously argued (e.g., Markovits & Lortie-Forgues, 2011), the most straightforward measure of simple deductive reasoning involves both the ability to accept the MP inference and to reject the AC inference.

The purpose of this first study was thus to determine whether preschool children are able to reason logically (i.e., to simultaneously accept the MP inference and reject the AC inference) using familiar category-based premises and, to evaluate the extent to which inhibitory and generation capacities are related to this ability. In order to examine these questions, we initially decided to examine correlations between tasks that involve idea generation, inhibition and simple logical reasoning.

To measure idea generation, we created a task in which children could generate alternative ideas from an initial set of information. This task is similar to some divergent thinking measures (Guilford, 1967; Runco, 1992; Torrance, 1974; Wallach & Kogan, 1965). Divergent thinking measures have been used in developmental studies, but those were not explicitly designed for preschool children (Bijvoet-van den Berg, Hoicka, 2014). It should be noted that Defeyter, Avons and German (2007) have used classic divergent thinking measures with 5-year-olds. However, their specific questions (e.g., different uses for a brick, a barrel) did not seem to be adequately familiar to preschool children. We thus decided to construct a generation task with questions designed to be accessible to very young children (e.g., how to make noise). Children were also given two explicit examples of alternative ideas (e.g., use a whistle and tear a sheet of paper).

We also included a measure of inhibitory control. This refers to an executive function that allows suppression of salient thoughts or actions that are irrelevant for the task at hand. It should be noted that there are other conceptions of inhibition (Miyake et al., 2000), and a variety of measures associated with each. In fact, Nigg (2000) has proposed a taxonomy to classify deliberate inhibition processes into four types (see also Friedman & Miyake, 2004). These are interference control, cognitive inhibition, behavioral inhibition and oculomotor inhibition. Many different tasks have been used to assess inhibitory control in young children. For instance, the Stroop Day-Night test aims to examine inhibition of prepotent verbal associations (e.g., Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994). Other assessment tools, such as the "Simon Says" game (Strommen, 1973; LaVoie, Anderson, Frazee, & Johnson, 1981), rather examine the ability to respond to specific commands while inhibiting others. For the purpose of the following studies, the measure of inhibitory capacity was chosen to estimate the extent to which children can monitor the conflict between competing rule representations and inhibit the most salient (and inappropriate) representation.

We decided to use the Dimensional Change Card Sort task (DCCS; Zelazo, 2006), which has been used in the age range we examine here. This measure is considered to be a reliable estimate of executive functioning and cognitive control in preschool children (Carlson, 2005; Zelazo, 2006, Zelazo et al., 2003). There is nonetheless some dispute about how to interpret this task. According to Cognitive Complexity and Control theory (Frye, Zelazo & Burack, 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo et al., 2003), success on the task occurs when children can use a higher-order rule for selecting the appropriate sorting rule (Happaney & Zelazo, 2003). This representational flexibility in turn enables conflict monitoring and inhibition of inappropriate responses (Espinet, Anderson, & Zelazo, 2012). The DCCS was designed as a broad measure of executive function (Zelazo, 2006). However, Diamond and collaborators (see also Kloo & Perner, 2005) have provided evidence that performance on the DCCS is highly related to pure inhibitory capacity, since it

specifically requires inhibition of the previously relevant sorting rule (Diamond, Carlson, & Beck, 2005; Diamond & Kirkham, 2005; Kirkham, Cruess, & Diamond, 2003; Rennie, Bull, & Diamond, 2004). This dimension corresponds quite closely to the idea that young children's difficulty with reasoning is closely related to difficulty in inhibiting a suggested inference rule (MP) or other irrelevant information.

6.3.1 Method

6.3.1.1 Participants

A total of 32 preschool children (Average age = 53.5 months; 21 boys, 11 girls; Age ranged from 41 to 64 months) participated in the study. They were recruited in a daycare centre in the region of Montreal, Quebec. All participants were native French speakers. Every parent signed a consent form that allowed their child to participate in the study.

6.3.1.2 Material

Generation task. Three different problems were administered in a fixed order to all participants. There was no time limit imposed and the experimenters moved on to the next question when the child said that he or she had no more ideas to give. The experimenters were allowed to ask children if they had more ideas to give and to repeat the question if necessary. However, they were neither allowed to give positive/negative feedbacks nor encouragements. There was no time limit imposed and the experimenters moved on to the next question when the child told that he or

she had no more ideas to give. The problems, translated from French (see the Appendix for the French verbatim of the tasks used in both studies), were presented verbally as follows:

“We can make noise with many things. For example, we can use a whistle. We can also make noise with more original things. For example, by tearing a sheet of paper. Can you tell me other ways of making noise? Give me as many ideas as you can.”

“We can give many things as gift. For example, we can give a soft toy. We can also give something more original. For example, we can give chocolate. Can you tell me other things to be given as a gift? Give me as many ideas as you can.”

“We can get dirty with many things. For example, we can get dirty with mud. We can also get dirty with something more original. For example, with ketchup. Can you tell me other ways of getting dirty? Give me as many ideas as you can.”

Inhibition task. The DCCS task was given using the standardized procedure (Zelazo, 2006). Precisely, children are asked to sort a set of cards (e.g., red rabbits and blue boats) into boxes with target cards (e.g., blue rabbit and red boat), following an explicit rule of the form “If P then Q, and if A then B”. There are three distinct phases. The two initial phases correspond to the standard version of the task, whereas the final phase is used as an advanced version for older children. In the first phase, the sorting dimension is the color of the card, thereby presented with the rule “If the card is red, then you put it here, but if the card is blue, then you put it there”. In the second phase, children are required to switch and use the alternative dimension (i.e., shape), which is stated by the rule “If the card is a rabbit, then you put it here, but if the card

is a boat, then you put it there”. Children are asked to sort 6 cards on each of these phases. The third phase requires children to shift dimensional focus repeatedly across the sorts. The cards are presented either with a black border or without a black border. The sorting rule is expressed as “If the card has a black border, then you have to play the color game, but if the card does not have a black border, then you have to play the shape game”. Children are asked to sort 12 cards on the third phase. Note that children neither have to guess nor retain the rules throughout the phases, because they are given verbally by the experimenter before each sort. Moreover, there is a rule check before starting to sort the cards on each phases. This consists of asking the child to point where the cards have to be placed according to the rule given previously.

The developmental pattern observed with this task is well documented (Kirkham et al., 2003; Zelazo et al., 2003). While 3-year-old children succeed at maintaining the first rule and sorting the first set according to it, they generally fail at switching dimensions in the second phase (i.e., shape) by perseverating with the initial criterion (i.e., color). In contrast, 4- and 5-year-old children successfully sort the cards in the second phase. However, their success in the third phase is not guaranteed. It should also be noted that there is no difference between performances whether the initial dimension is color or shape.

Logical Reasoning task. Logical reasoning was measured with three sets of problems each of which presented a major and minor premises corresponding to the MP and the AC inferences; although to facilitate understanding, we used the syllogistic form “All P are Q”. The content was adapted for young children (Markovits, 2000; Markovits et al., 1996). We asked children what they thought about the major premise statement to make sure they understood the rule. For each problem set, children were first asked to evaluate an AC inference followed by an MP inference. It should be noted that there is no evidence of the existence of order effects between the MP and AC inferences.

Finally, children were also asked to justify their responses. The problems were administered in the same order to all participants. The problems, translated from French, were as follows:

Someone told me that all dogs have legs.

AC A friend of mine has an animal with legs.

Is it certain that this animal is a dog? Why?

MP Another friend has a dog.

Is it certain that his dog has legs? Why?

Someone told me that all cactus have thorns.

AC A friend of mine bought a plant with thorns.

Is it certain that his plant is a cactus? Why?

MP Another friend bought a cactus.

Is it certain that his plant is a cactus? Why?

Someone told me that all cars have wheels.

AC A friend of mine saw a vehicle with wheels.

Is it certain that the vehicle is a car? Why?

MP Another friend saw a car.

Is it certain that the car has wheels? Why?

Very similar problems have been used with 6-year-olds (Markovits, 2000), and the behavior of the children in this study certainly suggested that they understood the terms used. In order to confirm this, we surveyed eleven experienced educators about children's ability to understand these terms. None of the terms were considered to be difficult, with the possible exception of the "All cactus have thorns" problem. This was not used in Study 2.

6.3.1.3 Procedure

Children were examined individually in a quiet room by a trained experimenter. The experimentation was presented as a playtime and took around 15 minutes to complete. Children were first administered either the Generation task followed by the Inhibition task and the Reasoning task (First order), or the Inhibition task, followed by the Generation task and the Reasoning task (Second order). Answers were recorded by the experimenter.

6.3.2 Results and Discussion

We first calculated a score for each of the three tasks. Responses to the Generation task were rated by evaluating the number of categories covered by the responses over each of the three problems. We refer to this as the flexibility score. This was considered to be a better measure than the total number of ideas produced (i.e., fluency), since one can generate many elements within a unique category by simple associative processes. Category judgements were done individually by 2 coders. The coders were instructed to assign a letter to each different idea. When an idea was part of a different semantic category, a new letter was assigned. If an idea from an already stated category occurred further in the chain of ideas, then the letter assigned was the one already used for the other idea (see the Appendix for an example of category judgments). It should be noted that we did not create an a priori list of categories because judgments were not ambiguous. Children usually followed very simple categories. For instance, most of the ideas given for the "how to make noise" problem were musical instruments (e.g., piano, guitar), body actions (e.g., to shout, to blow) or

object actions (e.g., throw a ball on the wall, dropping something on the floor). Weighted Cohen's kappa shows good inter-rater agreement ($\kappa_w = 0.798$). The flexibility score is thus the average number of distinct categories used across the three problems. For completeness, we also decided to analyze the fluency score. This is the average number of answers provided across the three problems.

The inhibition score was calculated according to the standard scoring method of the DCCS task (Zelazo, 2006). Points were given if the child reached the threshold of correct sorts on each phase. Precisely, 1 point was given when the child correctly sorted at least 5 cards out of 6 on the first phase, but no point was given otherwise. For the second phase, 1 point was also given when at least 5 cards out of 6 were correctly sorted. For the third phase, 1 point was finally given when at least 9 cards out of 12 were correctly sorted. Inhibition scores were thus situated within a range of 0 to 3 points, but the scores were actually dichotomous (1 or 2) because every children succeeded at the first phase, but none correctly sorted 9 cards on the third phase.

On the Logical Reasoning task, children were given 1 point if they responded logically to both type of inferences on each of the problem. That is, if they accepted the conclusion of the MP inference and rejected the conclusion of the AC inference as well. A logical reasoning score was calculated by summing the number of points accorded (varying from 0 to 3).

Table 6.1 shows an overview of the mean scores on each task as a function of order. To establish whether the order of presentation had an effect on the scores, we performed *t*-tests with generation, inhibition and logical reasoning scores as dependent variables, and order (First order; Second order) as independent variable. This showed that order had no significant effect on the scores. As can be seen from Table 6.1, the overall rate of logical reasoning, which requires simultaneous

acceptance of the MP and rejection of the AC inferences, was 27%. For completeness, we analyzed the MP and the AC inferences separately. As expected, mean number of correct responses was much higher for the MP inference ($M = 2.91$, $SD = 0.39$) than for the AC inference ($M = 0.91$, $SD = 0.89$). Although the rate of logical reasoning was relatively low, it compares favorably with that observed in somewhat older children.

Table 6.1

Mean scores on the Generation task (Fluency, Flexibility), the Inhibition task and the Logical Reasoning task as a function of order (Order 1, Order 2, Combined)

	Fluency	Flexibility	Inhibition	Logical Reasoning
Order 1	4.62 (3.85)	2.02 (0.95)	1.53 (0.52)	0.60 (0.83)
Order 2	5.67 (3.19)	2.43 (1.12)	1.53 (0.51)	1.00 (0.94)
Combined	5.17 (3.50)	2.24 (1.05)	1.53 (0.51)	.81 (.90)

Numbers in parentheses are standard deviations.

We also examined children's explicit justifications. Justifications were sorted into four categories. The first included justifications referring to the terms of the major premise presented (e.g., for the major premise "All dogs have legs", "Because it has legs" and "Because it's a dog" are examples of this form of justification). The second included justifications referring either to a specific alternative antecedent (e.g., "Because cats have legs too") or to a general alternative (e.g., "Because other animals have legs too"). The third category included justifications referring to anecdotal stories (e.g., "Because I have a dog at home"). The fourth category was comprised of "I don't know" responses. Justifications that matched none of the categories above were reported as being unclassifiable. Overall, 44.8% of the justifications referred to premise terms and 9.9% referred to potential alternative antecedents, whereas 30.7%

were “I don’t know” responses, 6.3% were anecdotal and 8.3% were unclassifiable. This suggests that a majority of children processed the problems and were reasoning explicitly. Further analysis showed that 57.3% of the justifications to the MP inferences referred to premise terms; while none referred to potential alternative antecedents (“I don’t know” : 28.1%, anecdotal : 6.2%, unclassifiable : 8.3%). For the AC inferences, 32.3% referred to premise terms and 19.8% to potential alternative antecedents (“I don’t know” : 33.3%, anecdotal : 6.2%, unclassifiable : 8.3%). It is clear that the frequency of use of each type of justification differs between MP and AC inferences. To confirm this, a chi-square analysis was performed to examine the relation between the type of inference and the justifications. This analysis was done using three categories of justification. The two first categories were justifications referring to premise terms and justifications referring to alternative antecedents. The third category was comprised of the three other types of justification. This showed a significant difference, $X^2(2, N = 192) = 25.99, p < .001$. This suggests that children processed the MP and AC inferences in a different way. A more detailed analysis revealed that children are more likely to give justifications referring to premise terms with the MP inference than they are with the AC inference. However, they tend to give more justifications referring to alternative antecedents with the AC inference.

We also analyzed justifications according to the response given to AC inferences. When the conclusion to the AC inference was correctly rejected, 65.5% of justifications referred to at least one alternative antecedent and 3.4% referred to premise’s terms (“I don’t know” : 24.1%, anecdotal : 3.4%, unclassifiable : 3.4%). However, when the conclusion to the AC inference was not correctly rejected, we observe that none of the justifications referred to an alternative antecedent whereas 44.8% referred to premise’s terms (“I don’t know” : 37.3%, anecdotal : 7.5%, unclassifiable : 10.4%). This comparison thus suggests that the justifications were mostly appropriate when the AC inferences were correctly rejected. In other words,

children mostly generated information that was consistent with the rejection of the AC inference.

We then examined correlations between age (in months), logical reasoning scores and both inhibition and generation scores (see Table 6.2). It is worth mentioning that a single order of administration of the tasks would have been more appropriate for correlational analysis. However, the pattern of correlations does not differ according to order. Inspection of Table 6.2 reveals that age is strongly related to inhibition scores, which is consistent with previous findings using the DCCS task (Zelazo, 2006). However, inhibition scores were unrelated either to logical reasoning scores or to generation scores. In contrast, both the flexibility and the fluency scores of the generation task were positively related to logical reasoning performance. We also performed a partial correlation to examine the relationship between flexibility and logical reasoning scores when controlling for fluency. This showed a significant correlation, $r(29) = .353, p = .05$. However, when flexibility was partialled out, the correlation between fluency and logical reasoning scores was not significant, $r(29) = .09, p = \text{n.s.}$.

Table 6.2
Correlations between Age (in months) and Generation (Fluency, Flexibility),
Inhibition and Logical Reasoning scores

	Fluency	Flexibility	Inhibition	Logical Reasoning
Age	.15	.05	.50**	.07
Fluency		.63**	-.28	.37*
Flexibility			-.15	.48**
Inhibition				-.06

* < .05; ** < .001

In order to examine to what extent flexibility scores are unique predictors of logical reasoning performance, we performed a hierarchical regression with logical reasoning score as the dependent variable and with age (in months), inhibition and flexibility scores as independent variables. We decided to enter age in the model because it might be related to other cognitive factors that could influence logical reasoning scores other than inhibitory capacity. Inhibition score and age were entered into the model first, followed by the flexibility score. This showed that 1.7% of the variance in the logical reasoning score is explained by both inhibition and age. The flexibility score explained a significant proportion of the variance (23.7%) in logical reasoning, above that explained by age and inhibition, $F(3, 28) = 2.91, p = .05$.

The results of Study 1 reveal a clear pattern of relations. That is, simple logical reasoning (i.e., the ability to simultaneously accept the MP inference and reject the AC inference) in preschool children is not related to inhibitory capacity (as measured with the DCCS task). By contrast, performance on the Generation task, as measured with both the fluency and flexibility scores, is clearly related to simple logical reasoning performance. However, flexibility is more strongly related to logical

reasoning than is fluency. More specifically, the relation between flexibility and logical reasoning scores was maintained even when controlling for fluency. These results reinforce the idea that idea generation is a key component in the logical reasoning process of preschool children. It is also important to note that a moderate proportion of preschool children were able to reason logically with familiar category-based premises.

6.4 Study 2

The results obtained in Study 1 show that preschool children are indeed capable of some degree of basic logical reasoning, that is, they are able to both accept the MP inference and to reject the AC inference for the same premise. The results also suggest that early logical reasoning is more closely related to the ability to generate alternative ideas than to inhibitory capacity as measured with the DCCS task. It should be noted that given the high rates of MP acceptance that children showed, these relations are concentrated on the latter component of logical reasoning, i.e. rejection of the AC inference. Thus, these results indicate that the ability to reason logically in preschool children is related to individual differences in idea generation more than to individual differences in inhibitory control. However, previous studies have indicated that it might be possible to manipulate dimensions involved in individual differences in order to directly influence reasoning. More specifically, these studies have shown that preceding reasoning tasks by a measure of alternatives generation can improve reasoning, but only when the form of alternatives generation is appropriate for the level of reasoning examined (Markovits, 2014b; Markovits & Brunet, 2012; Markovits & Lortie-Forgues, 2011). This has been interpreted as due to a priming effect, where the measure used can activate the underlying processes, when these are indeed relevant. A similar sort of order-based priming effect for the DCCS

and theory of mind tasks requiring inhibition has also been shown (Kloo & Perner, 2003). We thus decided to replicate the basic design of Study 1, but with two conditions. In the first condition, the Reasoning task was preceded by the Generation task, while in the second, the Reasoning task was preceded by the Inhibition task. Our basic hypothesis suggested that reasoning would be superior in the former condition than in the latter.

6.4.1 Method

6.4.1.1 Participants

A total of 32 preschool children (Average age = 47.06 months; 16 boys, 16 girls; Age ranged from 32 to 61 months) participated in the study. They were recruited in a daycare centre in the region of Montreal, Quebec. All participants were native French speakers. Every parent signed a consent form that allowed their child to participate in the study.

6.4.1.2 Material

Generation task. We used the same problems as in Study 1.

Inhibition task. The full version of the DCCS task was generally much longer than the Generation task, as reported by the experimenters from Study 1. Furthermore, none of the children succeeded the third phase. Given this, we decided to use the standard version of the DCCS task (i.e., phase 1 and 2 of the task). Note that children

still have to sort the same quantity of cards as in the phases 1 and 2 of Study 1. This modification is suitable for this age range and takes less time than the full version. Furthermore, this allowed for both the Generation and Inhibition task to take as much time to administer and for the experimental conditions to be more balanced.

Logical Reasoning task. The logical reasoning problems were similar to those used in Study 1, except we removed the “All cactus have thorns” problem. We also decided to add 2 additional problem sets. This choice was made to ensure a more reliable measure of simple logical reasoning and to estimate more precisely the impact of the experimental manipulation. Again, the 5 problem sets were administered in the same order to all participants and were the following (translated from French):

Someone told me that all dogs have legs.

AC A friend of mine has an animal with legs.

Is it certain that his animal is a dog? Why?

MP Another friend has a dog.

Is it certain that his dog has legs? Why?

Someone told me that all flies can fly.

AC A friend of mine saw an insect that fly.

Is it certain that this insect is a fly? Why?

MP Another friend saw a fly.

Is it certain that the fly can fly? Why?

Someone told me that all trucks have wheels.

AC A friend of mine saw a vehicle with wheels.

Is it certain that the vehicle is a truck? Why?

MP Another friend saw a truck.

Is it certain that the truck has wheels? Why?

Someone told me that all balloons are round.

AC A friend of mine saw a round object.

Is it certain that the object is a balloon? Why?

MP Another friend saw a balloon.

Is it certain that the balloon is round? Why?

Someone told me that all boots are worn on feet.

AC A friend of mine saw something that is worn on feet.

Is it certain that this thing is worn on feet? Why?

MP Another friend saw boots.

Is it certain that the boots are worn on feet? Why?

6.4.1.3 Procedure

Children were examined individually in a quiet room by a trained experimenter. Each session took around 10 minutes to complete. We used a Between-Subjects design involving two conditions. Children were randomly administered either the Generation task followed by the Logical Reasoning task (Generation Prime condition), or the Inhibition task followed by the Logical Reasoning task (Inhibition Prime condition). Responses were recorded by the experimenter.

6.4.2 Results and Discussion

As before, we calculated numbers of correct responses on the MP and AC inferences and a Logical Reasoning score which was the number of problems for which

responses on both inferences were correct (now ranging from 0 to 5). Table 6.3 shows the mean number of logically correct responses for the MP inferences, the AC inferences and the total logical reasoning score as a function of condition (Generation Prime, Inhibition Prime). Similarly to Study 1, MP inferences showed extremely high levels of correct responses (98.1%), while global mean rates of logical responses to the AC inferences was much lower (18.8%).

Table 6.3

Mean number of logically correct responses for the MP inferences, the AC inferences and mean Logical Reasoning score as a function of condition (Generation Prime, Inhibition Prime)

Condition	Inference types		Logical Reasoning Score
	MP	AC	
Generation Prime	5.00 (.00)	1.50 (1.93)	1.50 (1.93)
Inhibition Prime	4.81 (.54)	.38 (.81)	.38 (.81)

Numbers in parentheses are standard deviations.

We then performed an ANOVA with logical reasoning score as the dependent variable, condition (Generation Prime; Inhibition Prime) as independent variable and age (in months) as covariate. This showed a significant effect of condition, $F(1, 29) = 4.39$, $p < .05$, $partial\ eta^2 = .132$. Age was not related to the logical reasoning score, $F(1, 29) = .01$, $p = n.s.$ Children who performed the Generation task beforehand had significantly greater logical reasoning scores ($M = 1.50$; $SD = 1.93$) than those who did the Inhibition task beforehand ($M = .38$; $SD = .80$).

We also examined children's explicit justifications on the reasoning problems. Justifications were sorted into the same four categories as in Study 1. Overall, 68.1% of the justifications referred to premise terms and 9.0% referred to potential

alternative antecedents, whereas 21.9% were “I don’t know” responses, 3.9% were anecdotal and 7.9% were unclassifiable. Further analysis showed that 67.7% of the justifications to the MP inferences referred to premise terms, while 1.9% referred to potential alternative antecedents (“I don’t know” : 20.0%, anecdotal : 2.6%, unclassifiable : 7.7%). For the AC inferences, 55.8% referred to premise terms and 14.1% to alternative antecedents (“I don’t know” : 19.2%, anecdotal : 4.5%, unclassifiable : 6.4%). We performed a chi-square analysis to examine the relation between inference and justification types (premise terms; alternative antecedents; others). This showed a significant difference, $X^2(2, N = 311) = 16.12, p < .001$. A more detailed analysis mirrors the results of Study 1. Children are more likely to give justifications referring to premise terms with the MP inference than they are with the AC inference. However, they tend to give more justifications referring to alternative antecedents with the AC inference.

We also analyzed justifications according to the response given to AC inferences. When the conclusion to the AC inference was correctly rejected, 63.3% of justifications referred to at least one alternative antecedent and 10.0% referred to premise’s terms (“I don’t know” : 23.3%, anecdotal : 3.3%, unclassifiable : 0%). However, when the conclusion to the AC inference was mistakenly accepted, we observe that 2.4% of the justifications referred to an alternative antecedent whereas 66.7% referred to premise’s terms (“I don’t know” : 18.3%, anecdotal : 4.8%, unclassifiable : 7.9%). This comparison thus suggests that the justifications were mostly appropriate when the AC inferences were correctly rejected.

Finally, we analyzed justifications according to the experimental condition. For the Generation Prime condition, 57.6% of the justifications referred to premise terms and 13.2% to alternative antecedents (“I don’t know” : 18.5%, anecdotal : 2.6%, unclassifiable : 7.9%). For the Inhibition Prime condition, 65.6% referred to premise terms and 3.1% to alternative antecedents (“I don’t know” : 20.6%, anecdotal : 4.4%,

unclassifiable : 6.2%). We then performed a chi-square analysis to examine more precisely the effect of the experimental condition (Generation Prime; Inhibition Prime) on the justifications (premise terms; alternative antecedents; others). This showed a significant difference between the condition, $X^2(2, N = 311) = 10.82, p < .01$. We decided to conduct a post hoc analysis using Bonferroni adjusted alpha levels of .005 (.05/9). Results indicated that children are more likely to give justifications referring to alternative antecedents in the Generation Prime condition than they are in the Inhibition Prime condition, $X^2(1, N = 25) = 9.00, p < .005$.

These results show that preschool children who are given a Generation task beforehand show significantly improved levels of logical reasoning compared to children who are given an Inhibition task beforehand. Additionally, children who are given a Generation task also tend to produce more frequently justifications referring to alternative antecedents. This tendency provides some insight into the possible effect of the Generation task on subsequent reasoning. By itself, the conclusions of Study 2 are far from unambiguous, but the results nonetheless reinforce those of Study 1.

6.5 General Discussion

Conditional (if-then) reasoning is a critical component of advanced thinking. Understanding what factors are important in the early development of the ability to reason logically is important, both theoretically and practically. In these studies, we have examined two factors that have been shown to impact logical reasoning in older children, inhibitory capacity and the ability to generate alternative ideas.

The results of these two studies provide evidence that the ability to generate alternative ideas is more important for the very early development of basic logical reasoning, in particular the ability to correctly reject the AC inference, than is inhibitory capacity. Study 1 shows that logical reasoning in preschool children is more strongly correlated with a measure of idea generation than to a measure of inhibitory capacity (i.e., the DCCS task). Study 2 provides experimental support for this conclusion, showing that preceding reasoning with a Generation task significantly improves preschool children's reasoning compared to an inhibitory control task.

While these results suggest that idea generation is more important than inhibitory capacity, we cannot conclude that inhibition is not important for reasoning. The choice of the DCCS as a measure of inhibitory capacity is, as has been stated previously, somewhat controversial. If this is more of a broader measure of executive function (Zelazo, 2006), then it is possible that a more focused measure might give stronger correlations than we have observed in these studies. However, even if the DCCS is related to more dimensions of executive function, it should nonetheless measure inhibition (Diamond & Kirkham, 2005) and the lack of any relationship to early reasoning remains significant.

In fact, there is evidence that inhibition is an important component of reasoning in older children and adults. This relation is most clearly observed in the context of information that puts into doubt the necessity of a conditional rule. For example, studies have found a relationship between elementary school children's inhibitory capacity and logical reasoning with premises that are empirically false (Simoneau & Markovits, 2003; Handley, Capon, Beveridge, Dennis, & Evans, 2004). Another similar context concerns the effects of disabling conditions. Disabling conditions refer to stored information that could invalidate a given conditional rule (Cummins, 1995; Cummins et al., 1991). Several studies have shown that the number of disablers

stored in memory is associated with a decrease in the acceptance rate of the MP (and MT) inference (Byrne, 1989; Cummins, 1995; De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2002, 2003; Thompson, 1994). Accepting the MP inference is associated with the ability to inhibit the activation of disabling conditions (De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2005; De Neys & Everaerts, 2008). However, while this form of inhibition is clearly an important component of reasoning amongst older children and adults, there is evidence that suggests that it might have a limited impact in very young children's reasoning (Janveau & Markovits, 1999). This is consistent with the present results which suggest that early logical reasoning is particularly dependant on the capacity to generate alternatives.

This is, in turn, consistent with the fact that both studies show that young children accept the MP inference at a very high rate, and that their difficulties in logical reasoning are concentrated on the ability to reject the AC inference. However, despite this difficulty, these results do show that very young children can reason correctly with both the MP and the AC inferences, at least under certain conditions. To our knowledge, although there is evidence that older elementary school children are able to reason logically with premises similar to those employed here (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008), no studies have examined preschool children's ability to reason with both the MP and the AC inferences. Studies that have looked at younger children have only examined certain inferences equivalent to the MP inference (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins et al., 1984; Richards & Sanderson, 1999). Thus, the results of the present studies show that preschool children have the capacity to reason logically in the basic sense we use here, although we cannot exclude the possibility that this capacity must be activated by an alternative ideas generation procedure.

It should however be noted that although the basic conclusion is warranted, the absolute level of logical responding among preschool children can be masked by

other factors. For example, studies have shown that preschool children are subject to a strong "yes" bias when asked to answer yes–no questions (Heather Fritzley & Lee, 2003; Okanda & Itakura, 2010). Such a bias might result in either an overestimation of the ability to accept the MP inference or an underestimation of the ability to reject the AC inference. Thus, absolute levels of logical responding should be treated with caution.

These results are consistent with a general framework that suggests that the ability to generate alternative possibilities is a critical component of reasoning. According to a mental model approach, basic mental models reflect the semantics of premises. The extent to which reasoners construct alternate semantic models that are also consistent with the truth of premises taken in a larger sense is an important extension (Byrne, 2005). For instance, Byrne's (2005) mental model analysis of counterfactual conditionals (e.g., "If I hadn't been wearing a seatbelt, I would have been killed") stresses that such premises trigger the imagination of two simultaneous alternative possibilities. However, the present results suggest a broader interpretation of the process of alternative generation.

The Idea Generation task used here measures not only the ability to generate an alternative semantic interpretation, but also measures the ability to imagine multiple alternatives. This in turn strongly mirrors the basic processes observed in the study of divergent thinking, which is conceived as an important process underlying creativity (Acar & Runco, 2014; Beaty & Silvia, 2012; Benedek, Könen, & Neubauer, 2012; Gilhooly, Fioratou, Anthony, & Wynn, 2007). Divergent thinking is defined as the ability to generate several ideas or solutions to a problem, whereas convergent thinking consists of generating one correct or conventional answer to a question (Runco & Acar, 2012). In fact, Markovits (2014a) has recently proposed a model of the development of logical reasoning that explicitly considers some form of divergent thinking as an important developmental component. It should be noted that the

Generation task used in Study 1 and 2 is very similar to some common measures of divergent thinking (for a brief review on divergent thinking assessments, see Kaufman, Plucker, & Baer, 2008). For instance, Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT; Torrance, 1974) include tasks in which participants are asked to list as many possible causes for a given action. In a similar vein, the Instances task introduced by Wallach and Kogan (1965) also asks children to name all the things they can think of that make noise.

Divergent thinking has been commonly measured using fluency, flexibility and originality scores; although the specific scoring methods often differ. These scores are frequently intercorrelated, but they are not redundant and describe different facets of divergent thinking (see Runco & Acar, 2012; Nusbaum & Silvia, 2011). However, previous studies show a strong tendency to employ either fluency or originality scores when relating divergent thinking to other cognitive processes or behaviors. Flexibility scores are less frequently used. It is thus interesting to note that the extent to which children can generate ideas across category boundaries (i.e., flexibility score) can be seen as a better indicator of logical ability than the number of alternative ideas provided (i.e., the fluency score). This is also in line with a study by Markovits and Quinn (2002) that has looked at the relationship between retrieval flexibility and conditional reasoning in adults. They found that individual differences in the speed of retrieval of remote alternatives was correlated with the ability to withhold AC inferences. This sheds light on the relative importance of retrieval flexibility during reasoning. This also suggests the idea that creative thinking and deductive reasoning might share core processes, and that some form of divergent thinking underlies the early ability to reason logically. In turn, such an association would indicate a novel direction for promoting deductive reasoning in young children.

6.6 References

- Acar, S., & Runco, M. A. (2014). Assessing associative distance among ideas elicited by tests of divergent thinking. *Creativity Research Journal*, *26*(2), 229-238. DOI: 10.1080/10400419.2014.901095
- Beatty, R. E., & Silvia, P. J. (2012). Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *6*(4), 309-319. DOI: 10.1037/a0029171
- Benedek, M., Könen, T., & Neubauer, A. C. (2012). Associative abilities underlying creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *6*(3), 273-281. DOI: 10.1037/a0027059
- Bijvoet-van den Berg, S., & Hoicka, E. (2014). Individual differences and age-related changes in divergent thinking in toddlers and preschoolers. *Developmental psychology*, *50*(6), 1629-1939. DOI: 10.1037/a0036131
- Braine, M. D. S. (1990). The “natural logic” approach to reasoning. In W. F. Overton (Ed.). *Reasoning, necessity, and logic: Developmental perspectives* (pp. 135 – 158). Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Braine, M. D. S., & O'Brien, D. P. (1991). A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. *Psychological review*, *98*(2), 182-203. DOI: 10.1037/0033-295X.98.2.182
- Byrne, R. M. J. (1989). Suppressing valid inferences with conditionals. *Cognition*, *31*(1), 61-83. DOI: 10.1016/0010-0277(89)90018-8
- Byrne, R. M. J. (2005). *The rational imagination: How people create alternatives to reality*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, *28*(2), 595-616. DOI: 10.1207/s15326942dn2802_3

- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032-1053. DOI: 10.1111/1467-8624.00333
- Cummins, D. D. (1995). Naive theories and causal deduction. *Memory & Cognition*, 23(5), 646-658. DOI: 10.3758/BF03197265
- Cummins, D. D., Lubart, T., Alksnis, O., & Rist, R. (1991). Conditional reasoning and causation. *Memory & cognition*, 19(3), 274-282. DOI: 10.3758/BF03211151
- Defeyter, M. A., Avons, S. E., & German, T. C. (2007). Developmental changes in information central to artifact representation: Evidence from 'functional fluency' tasks. *Developmental science*, 10(5), 538-546. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2007.00617.x
- De Neys, W., & Everaerts, D. (2008). Developmental trends in everyday conditional reasoning: The retrieval and inhibition interplay. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(4), 252-263. DOI: 10.1016/j.jecp.2008.03.003
- De Neys, W., Schaeken, W., & D'Ydewalle, G. (2002). Causal conditional reasoning and semantic memory retrieval: A test of the semantic memory framework. *Memory & Cognition*, 30(6), 908-920. DOI: 10.3758/BF03195776
- De Neys, W., Schaeken, W., & D'Ydewalle, G. (2003). Inference suppression and semantic memory retrieval: Every counterexample counts. *Memory & Cognition*, 31(4), 581-595. DOI: 10.3758/BF03196099
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2005). Working memory and everyday conditional reasoning: Retrieval and inhibition of stored counterexamples. *Thinking & Reasoning*, 11(4), 349-381. DOI: 0.1080/13546780442000222
- Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool children's performance in task switching on the dimensional change card sort task: Separating the dimensions aids the ability to switch. *Developmental neuropsychology*, 28(2), 689-729. DOI: 10.1207/s15326942dn2802_7

- Diamond, A., & Kirkham, N. (2005). Not quite as grown-up as we like to think parallels between cognition in childhood and adulthood. *Psychological Science*, 16(4), 291-297. DOI: 10.1111/j.0956-7976.2005.01530.x
- Diamond, A., Kirkham, N., & Amso, D. (2002). Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response. *Developmental psychology*, 38(3), 352-362. DOI: 10.1037/0012-1649.38.3.352
- Diamond, A., & Taylor, C. (1996). Development of an aspect of executive control: Development of the abilities to remember what I said and to “Do as I say, not as I do”. *Developmental psychobiology*, 29(4), 315-334. DOI: 0012-1630/96/04015-20
- Dias, M. G., & Harris, P. L. (1988). The effect of make - believe play on deductive reasoning. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(3), 207-221. DOI: 10.1111/j.2044-835X.1988.tb01095.x
- Dias, M. G., & Harris, P. L. (1990). The influence of the imagination on reasoning by young children. *British Journal of Developmental Psychology*, 8(4), 305-318. DOI: 10.1111/j.2044-835X.1990.tb00847.x
- Dias, M. G., Roazzi, A., O'Brien, D. P., & Harris, P. L. (2005). Logical reasoning and fantasy contexts: Eliminating differences between children with and without experience in school. *Revista interamericana de psicología= Interamerican journal of psychology*, 39(1), 13-22.
- Espinet, S. D., Anderson, J. E., & Zelazo, P. D. (2012). N2 amplitude as a neural marker of executive function in young children: an ERP study of children who switch versus perseverate on the dimensional change card sort. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(1), S49-S58. DOI: 10.1016/j.dcn.2011.12.002
- Evans, J. S. B., Newstead, S. E., & Byrne, R. M. (Eds.). (1993). *Human reasoning: The psychology of deduction*. Psychology Press.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology: General*, 133(1), 101-135. DOI: 10.1037/0096-3445.133.1.101

- Frye, D., Zelazo, P. D., & Burack, J. A. (1998). Cognitive complexity and control: I. Theory of mind in typical and atypical development. *Current Directions in Psychological Science*, 7(4), 116-121.
- Gauffroy, C., & Barrouillet, P. (2011). The primacy of thinking about possibilities in the development of reasoning. *Developmental psychology*, 47(4), 1000-1011. DOI: 10.1037/a0023269
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 312–7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129-153. DOI: 10.1016/0010-0277(94)90068-X
- Gilhooly, K. J., Fioratou, E., Anthony, S. H., & Wynn, V. (2007). Divergent thinking: Strategies and executive involvement in generating novel uses for familiar objects. *British Journal of Psychology*, 98(4), 611-625. DOI: 10.1111/j.2044-8295.2007.tb00467.x
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Handley, S. J., Capon, A., Beveridge, M., Dennis, I., & Evans, J. S. B. (2004). Working memory, inhibitory control and the development of children's reasoning. *Thinking & Reasoning*, 10(2), 175-195. DOI: 10.1080/13546780442000051
- Happaney, K., & Zelazo, P. D. (2003). Inhibition as a problem in the psychology of behavior. *Developmental Science*, 6(5), 468-470. DOI: 10.1111/1467-7687.00301
- Hawkins, J., Pea, R. D., Glick, J., & Scribner, S. (1984). "Merds that laugh don't like mushrooms": Evidence for deductive reasoning by preschoolers. *Developmental Psychology*, 20(4), 584-594. DOI: 10.1037/0012-1649.20.4.584
- Heather Fritzley, V., & Lee, K. (2003). Do young children always say yes to yes–no questions? A metadepvelopmental study of the affirmation bias. *Child development*, 74(5), 1297-1313. DOI: 10.1111/1467-8624.00608

- Janveau-Brennan, G., & Markovits, H. (1999). The development of reasoning with causal conditionals. *Developmental Psychology*, 35(4), 904-911. DOI: 10.1037/0012-1649.35.4.904
- Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P. & Byrne, R.M.J. (1991). *Deduction*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson-Laird, P. & Byrne, R.M.J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, 109(4), 646-678. DOI: 10.1037/0033-295X.109.4.646
- Kaufman, J. C., Plucker, J. A., & Baer, J. (2008). *Essentials of creativity assessment*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Kirkham, N. Z., Cruess, L., & Diamond, A. (2003). Helping children apply their knowledge to their behavior on a dimension - switching task. *Developmental Science*, 6(5), 449-467. DOI: 10.1111/1467-7687.00300
- Kloo, D., & Perner, J. (2003). Training transfer between card sorting and false belief understanding: Helping children apply conflicting descriptions. *Child development*, 74(6), 1823-1839. DOI: 10.1046/j.1467-8624.2003.00640.x
- Kloo, D., & Perner, J. (2005). Disentangling dimensions in the dimensional change card - sorting task. *Developmental Science*, 8(1), 44-56. DOI: 10.1111/j.1467-7687.2005.00392.x
- LaVoie, J. C., Anderson, K., Frazee, B., & Johnson, K. (1981). Modeling, tuition, and sanction effects on self-control at different ages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 31(3), 446-455. DOI: 10.1016/0022-0965(81)90029-1
- Livesey, D. J., & Morgan, G. A. (1991). The development of response inhibition in 4 - and 5 - year - old children. *Australian Journal of Psychology*, 43(3), 133-137. DOI: 10.1080/00049539108260137
- Markovits, H. (1995). Conditional reasoning with false premises: Fantasy and information retrieval. *British Journal of Developmental Psychology*, 13(1), 1-11. DOI: 10.1111/j.2044-835X.1995.tb00660.x

- Markovits, H. (2000). A mental model analysis of young children's conditional reasoning with meaningful premises. *Thinking & Reasoning*, 6(4), 335-347. DOI: 10.1080/135467800750038166
- Markovits, H. (2014a). How to develop a logical reasoner: A hierarchical model of the role of divergent thinking in the development of conditional reasoning. In H. Markovits (Ed.). *The Developmental Psychology of Reasoning and Decision-Making* (pp.148 – 164). Psychology Press.
- Markovits, H. (2014b). On the road toward formal reasoning: Reasoning with factual causal and contrary-to-fact causal premises during early adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 128, 37-51. DOI: 10.1016/j.jecp.2014.07.001
- Markovits, H., & Barrouillet, P. (2002). The development of conditional reasoning: A mental model account. *Developmental Review*, 22(1), 5-36. DOI: 10.1006/drev.2000.0533
- Markovits, H., & Brunet, M. L. (2012). Priming divergent thinking promotes logical reasoning in 6-to 8-year olds: But more for high than low SES students. *Journal of Cognitive Psychology*, 24(8), 991-1001. DOI: 10.1080/20445911.2012.729034
- Markovits, H., & Lortie - Forgues, H. (2011). Conditional reasoning with false premises facilitates the transition between familiar and abstract reasoning. *Child development*, 82(2), 646-660. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2010.01526.x
- Markovits, H., & Quinn, S. (2002). Efficiency of retrieval correlates with “logical” reasoning from causal conditional premises. *Memory & Cognition*, 30(5), 696-706. DOI: 10.3758/BF03196426
- Markovits, H., & Thompson, V. (2008). Different developmental patterns of simple deductive and probabilistic inferential reasoning. *Memory & cognition*, 36(6), 1066-1078. DOI: 10.3758/MC.36.6.1066
- Markovits, H., Venet, M., Janveau - Brennan, G., Malfait, N., Pion, N., & Vadeboncoeur, I. (1996). Reasoning in young children: Fantasy and information retrieval. *Child Development*, 67(6), 2857-2872. DOI: 10.1111/j.1467-8624.1996.tb01892.x

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, 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*(1), 49-100. DOI: 10.1006/cogp.1999.0734
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological bulletin*, *126*(2), 220-246. DOI: 10.1037/0033-2909.126.2.220
- Nusbaum, E. C., & Silvia, P. J. (2011). Are intelligence and creativity really so different?: Fluid intelligence, executive processes, and strategy use in divergent thinking. *Intelligence*, *39*(1), 36-45. DOI: 10.1016/j.intell.2010.11.002
- O'Brien, D. P., & Overton, W. F. (1982). Conditional reasoning and the competence-performance issue: A developmental analysis of a training task. *Journal of Experimental Child Psychology*, *34*(2), 274-290. DOI: 10.1016/0022-0965(82)90046-7
- Okanda, M., & Itakura, S. (2010). When do children exhibit a “yes” bias?. *Child development*, *81*(2), 568-580. DOI: 10.1111/j.1467-8624.2009.01416.x
- Piaget, J. (1987a). *Possibility and necessity: Vol. 1. The role of possibility in cognitive development* (H. Feider, Trans.). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Piaget, J. (1987b). *Possibility and necessity: Vol. 2. The role of necessity in cognitive development* (H. Feider, Trans.). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Quinn, S., & Markovits, H. (1998). Conditional reasoning, causality, and the structure of semantic memory: Strength of association as a predictive factor for content effects. *Cognition*, *68*(3), B93-B101. DOI: 10.1016/S0010-0277(98)00053-5
- Rennie, D. A., Bull, R., & Diamond, A. (2004). Executive functioning in preschoolers: Reducing the inhibitory demands of the dimensional change card sort task. *Developmental neuropsychology*, *26*(1), 423-443. DOI: 10.1207/s15326942dn2601_4

- Richards, C. A., & Sanderson, J. A. (1999). The role of imagination in facilitating deductive reasoning in 2-, 3- and 4-year-olds. *Cognition*, 72(2), B1-B9. DOI: 10.1016/S0010-0277(99)00037-2
- Rips, L. J. (1983). Cognitive processes in propositional reasoning. *Psychological review*, 90(1), 38-71. DOI: 10.1037/0033-295X.90.1.38
- Rips, L. J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rumain, B., Connell, J., & Braine, M. D. (1983). Conversational comprehension processes are responsible for reasoning fallacies in children as well as adults: If is not the biconditional. *Developmental Psychology*, 19(4), 471-481. DOI: 10.1037/0012-1649.19.4.471
- Runco, M. A. (1992). Children's divergent thinking and creative ideation. *Developmental Review*, 12(3), 233-264. DOI: 10.1016/0273-2297(92)90010-Y
- Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal*, 24(1), 66-75. DOI: 10.1080/10400419.2012.652929
- Simoneau, M., & Markovits, H. (2003). Reasoning with premises that are not empirically true: evidence for the role of inhibition and retrieval. *Developmental Psychology*, 39(6), 964-979. DOI: 10.1037/0012-1649.39.6.964
- Strommen, E. A. (1973). Verbal Self-Regulation in a Children's Game: Impulsive Errors on "Simon Says". *Child Development*, 44(4), 849-853. DOI: 10.2307/1127737
- Thompson, V. A. (1994). Interpretational factors in conditional reasoning. *Memory & cognition*, 22(6), 742-758. DOI: 10.3758/BF03209259
- Torrance, E. P. (1974). *The Torrance Tests of Creative Thinking-Norms-Technical Manual Research Edition*. Princeton, NJ: Personnel Press.
- Wallach, M., & Kogan, N. (1965). *Modes of thinking in young children*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, *1*(1), 297-301. DOI: 10.1038/nprot.2006.46
- Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: II. The development of executive function in childhood. *Current Directions in Psychological Science*, *7*(4), 121-126.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... & Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the society for research in child development*, i-151

6.7 Appendix

6.7.1 French verbatim of the tasks

Generation task

Noise	On peut faire du bruit avec beaucoup de choses, comme par exemple avec un sifflet. Mais on peut aussi faire du bruit avec des choses plus originales, comme par exemple en déchirant une feuille de papier. Peux-tu me dire d'autres manières de faire du bruit?
Gift	Il y a beaucoup de choses qu'on peut donner en cadeau, comme par exemple un toutou. Mais on peut aussi donner quelque de plus original, comme par exemple du chocolat. Peux-tu me dire d'autres choses qu'on peut donner en cadeau?
Dirty	On peut se salir avec beaucoup de choses, comme par exemple avec de la bouette. Mais on peut aussi se salir avec des choses plus originales, comme du ketchup. Peux-tu me dire d'autres manières de se salir?

Reasoning task

All dogs have legs.	Quelqu'un m'a dit que tous les chiens ont des pattes. (AC) Mon ami a un animal qui a des pattes. Est-ce que c'est certain que son animal est un chien? Pourquoi? (MP) Mon autre ami a un chien. Est-ce que c'est certain que son chien a des pattes? Pourquoi?
All cactus have thorns	Quelqu'un m'a dit que tous les cactus ont des épines. (AC) Mon ami a acheté une plante avec des épines. Est-ce que c'est certain que sa plante est un cactus? Pourquoi? (MP) Mon autre ami a acheté un cactus.

Est-ce que c'est certain que son cactus a des épines?
Pourquoi?

All cars have wheels
 Quelqu'un m'a dit que toutes les voitures ont des roues.
 (AC) Mon ami a vu un véhicule avec des roues.
 Est-ce que c'est certain que son véhicule est une voiture?
 Pourquoi?
 (MP) Mon autre ami a vu une voiture.
 Est-ce que c'est certain que la voiture a des roues?
 Pourquoi?

All flies can fly
 Quelqu'un m'a dit que toutes les mouches peuvent voler.
 (AC) Mon ami a vu un insecte voler.
 Est-ce que c'est certain que l'insecte est une mouche?
 Pourquoi?
 (MP) Mon autre ami a vu une mouche.
 Est-ce que c'est certain que la mouche peut voler?
 Pourquoi?

All trucks have wheels
 Quelqu'un m'a dit que tous les camions ont des roues.
 (AC) Mon ami a vu un véhicule avec des roues.
 Est-ce que c'est certain que son véhicule est un camion?
 Pourquoi?
 (MP) Mon autre ami a vu un camion.
 Est-ce que c'est certain que le camion a des roues?
 Pourquoi?

All balloons are round
 Quelqu'un m'a dit que tous les ballons sont ronds.
 (AC) Mon ami a vu quelque chose de rond.
 Est-ce que c'est certain que c'est un ballon?
 Pourquoi?
 (MP) Mon autre ami a vu un ballon.
 Est-ce que c'est certain que le ballon est rond?
 Pourquoi?

All boots are worn on feet
 Quelqu'un m'a dit que toutes les bottes se portent aux pieds.
 (AC) Mon ami porte quelque chose à ses pieds.
 Est-ce que c'est certain que c'est des bottes?
 Pourquoi?
 (MP) Mon autre ami a vu des bottes.
 Est-ce que c'est certain qu'elles se portent aux pieds?
 Pourquoi?

6.7.2 Example of category judgments

“We can get dirty with many things. For example, we can get dirty with mud. We can also get dirty with something more original. For example, with ketchup. Can you tell me other ways of getting dirty? Give me as many ideas as you can.”

<i>Chain of ideas</i>	<i>Category</i>	<i>Category judgments</i>
Grass	Outdoor	A
Mud	Outdoor	A
Cat	Animal	B
Mayonnaise	Food	C
Mustard	Food	C
Ketchup	Food	C
Blood	Body	D
Chocolate	Food	C
Food	Food	C
Grass	Outdoor	A
Coloured pencils	Handwork	E
Painting	Handwork	E
Mud	Outdoor	A

CHAPITRE VII

DEUXIÈME ARTICLE – PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

7.1 Problématique

Le premier article indique que les enfants d'âge préscolaire peuvent montrer une compétence déductive lorsqu'on leur demande de raisonner à partir de relations catégorielles élémentaires, quoi qu'à un niveau inférieur à leurs pairs plus vieux. Plus important encore, les différences individuelles au plan de la fluidité et de la flexibilité de la pensée divergente sont associées au degré auquel l'incertitude des inférences AC est appréciée, alors que les différences au plan de l'inhibition ont peu d'impact. De plus, les enfants de 4-5 ans manifestent plus facilement une compétence déductive suite à l'administration des exercices de pensée divergente, ce qui appuie davantage le rôle important de cette forme de pensée dans l'émergence du raisonnement déductif, comparativement à celui de l'inhibition. Le premier article suggère donc que les enfants d'âge préscolaire peuvent générer des alternatives à l'antécédent, mais qu'ils échouent à déployer une telle habileté pendant qu'ils raisonnent sans qu'une forme d'activation soit mise en place.

Le deuxième article vise à explorer l'effet facilitateur de la pensée divergente sur l'émergence du raisonnement déductif et d'en décortiquer les composantes. Selon la TRS, une difficulté centrale à l'âge préscolaire consiste à produire des alternatives à

l'antécédent qui sont différents de celui évoqué par les prémisses du problème de raisonnement, de sorte que les enfants très jeunes peuvent avoir de la difficulté à s'écarter de cette possibilité saillante et à s'engager dans une forme de pensée divergente. Le deuxième article propose d'examiner le rôle de l'originalité et de son activation par la pensée divergente préalablement aux problèmes de raisonnement.

La méthode employée consiste à manipuler l'accès à des exemples dans les exercices de pensée divergente et repose sur le principe de fixation. Tel que mentionné dans le Chapitre IV, la pensée divergente peut être contrainte par le chemin de la moindre résistance (p.ex., Ward et Kolomyts, 2010). Plusieurs études ont montré que cet effet a plus d'impact lorsque les exercices sont accompagnés d'exemples explicites. Cette simple manipulation provoque habituellement un changement qualitatif au regard de l'originalité des idées produites par les enfants et les adultes (Agogué et al., 2014; Cassotti et al., 2016; Marsh, Landau, et Hicks, 1996; Smith, Ward, et Schumacher, 1993), alors qu'elle influence moindrement la fluidité des idées, permettant ainsi un examen plus raffiné de l'effet de la pensée divergente sur l'émergence d'une compétence déductive au préscolaire.

7.2 Hypothèse

Le deuxième article emploie un devis expérimental avec trois groupes. Certains enfants ont reçu des exercices de pensée divergente avec exemples, d'autres ont reçu des exercices sans exemple et d'autres ont reçu des exercices ne visant pas une composante de pensée divergente (c.-à-d., condition contrôle). Ces exercices sont administrés avant une tâche de raisonnement similaire au premier article. À noter également que les exercices de pensée divergente étaient identiques à ceux utilisés dans le premier article.

La première hypothèse est que les performances de pensée divergente seront supérieures suivant l'administration d'exercices sans exemple que suite à l'administration d'exercices avec exemples ou d'exercices contrôle. La seconde hypothèse est que l'originalité des idées produites dans l'exercice de pensée divergente sera supérieure dans la condition sans exemple que dans la condition avec exemples, ce qui renforcerait la pertinence de la manipulation et la validité conceptuelle additionnelle quant au rôle de la pensée divergente dans l'émergence du raisonnement déductif.

CHAPITRE VIII

DEUXIÈME ARTICLE – DIVERGENT THINKING PROMOTES DEDUCTIVE REASONING IN PRESCHOOLERS

8.1 Abstract

This study explored the hypothesis that preschoolers' deductive reasoning would be improved by encouraging use of divergent thinking. Children of 4 to 5 years of age (n=120) were randomly given divergent thinking or neutral control exercises before deductive reasoning problems. To allow a stronger test of the hypothesis, half of the children receiving the divergent thinking exercises were given explicit examples, which has been shown to reduce ideational originality. Results indicate that, as predicted, divergent thinking exercises without examples significantly improved rates of deductive responding, compared to exercises with examples and the control condition. These findings indicate that divergent thinking is a key component in the early beginnings of deductive reasoning. Some educational implications are discussed.

8.2 Introduction

Deductive reasoning is the cognitive process that attempts to generate necessary conclusions on the basis of given premises which are assumed to be true. Critically,

deductive reasoning requires the ability to withhold an inference when a conclusion is merely possible and thus, uncertain. The ability to distinguish necessary from possible conclusions is among the most important components of mathematics (Morsanyi, McCormack, & O'Mahony, 2017) and scientific thinking (Kuhn, 1993). Understanding the development of this ability is therefore crucial for research in psychology and education, but also for informing teaching practices. Yet, there is little consensus about the cognitive factors underlying the development of deductive reasoning (for a review, see Ricco, 2010). In this study, we examine a recent approach that positions divergent thinking as one of the critical factors driving the acquisition of reasoning skills (see Markovits, 2014a). Although divergent thinking is a process almost exclusively studied in the research on creativity (McCrae, 1987; Runco & Acar, 2012), there is evidence suggesting that divergent thinking may also play a key role in deductive reasoning (e.g., Markovits & Brunet, 2012). To test this hypothesis, we examine the benefits of divergent thinking exercises on the reasoning of preschool-aged children, that is, at the very beginnings of deductive reasoning abilities (de Chantal & Markovits, 2017; Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins, Pea, Glick, & Scribner, 1984; Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008; Markovits & Vachon, 1989; Richards & Sanderson, 1999).

We first introduce the difficulties that define the reasoning of preschoolers and show that children this young do not consistently demonstrate that they have a basic deductive competence. Next, we present a model that positions the ability to generate possibilities as the cornerstone of the development of deductive reasoning abilities, examine some possible explanations of preschoolers' difficulties within this framework and, then, explain how those difficulties could be overcome by specifically encouraging the use of divergent thinking. Our objective is to show that preschoolers have the basic capacity to reason deductively, but that children this young must be encouraged to use divergent thinking in order to activate this potential.

Research with very young children has shown that 4- and 5-year-olds can make some simple deductive inferences for which there are certain conclusions (Dias & Harris, 1988, 1990; Hawkins, Pea, Glick, & Scribner, 1984; Markovits & Vachon, 1989; Richards & Sanderson, 1999), with the clearest example being the *Modus Ponens* (MP). This elementary form of inference involves a conditional premise "if P then Q" (i.e., the major premise), and coupled with the minor premise "P is true", this set of premises leads to the necessary conclusion "Q is true". The following is an example of the MP inference:

If you go in the rain (P), then you will be wet (Q).

You are in the rain (P), therefore you are wet (Q).

The young age at which children can reason correctly with the MP inference may indicate that preschoolers acquire a basic form of deductive competence early on, as proposed by some theorists (e.g., Braine, 1990). However, studies have also shown that young children tend to make reasoning errors on forms of inference for which there are no certain conclusions. The simplest example of this is the Affirmation of the Consequent (AC; de Chantal & Markovits, 2017; Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008; Janveau-Brennan & Markovits, 1999), which involves the major premise "if P, then Q" and the minor premise "Q is true". Conversely to the MP inference, this set of premises does not lead to a single, necessary conclusion. The most common reasoning error found with the AC inference is to mistakenly draw the invited conclusion "P is true". The correct response is to withhold this conclusion, since it is merely possible and not necessary. The following is an example of the AC inference:

If you go in the rain (P), then you will be wet (Q).

You are wet (Q), therefore you are in the rain (P).

Several studies have shown that the most significant change in reasoning skills, before the advent of adolescence, stems from the increasing ability to correctly reason with the AC inference (Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Müller, Overton, & Reene, 2001; O'Brien, 1987). While many 7- and 8-year-olds can reliably reject the invited conclusion of the AC inference in the right circumstances (as detailed further), younger children have real difficulty resisting it (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008). In fact, the percentage of 3- to 5-year-olds capable of correctly reasoning with this form of inference is very low (de Chantal & Markovits, 2017).

Preschoolers' tendency to make the MP inference, but also to erroneously endorse the invited conclusion of the AC inference, suggests that they have in fact very limited deductive competence. As we have previously stated, one of the key components of deductive reasoning is the ability to distinguish between necessary and possible conclusions, a distinction that is most clearly illustrated when children can correctly reason with both the MP and AC inferences. Thus, the question of how children come to understand this distinction is essential to explain the emergence of deductive reasoning. The capacity to coordinate necessary and possible inferences was already defined in Piaget's (1987a, 1987b) seminal work on the development of formal reasoning. According to Piaget (see also Inhelder & Piaget, 1958), understanding necessary conclusions requires being able to generate and eliminate all other possible ones. Similarly, other approaches to reasoning have proposed that the extent to which children think about possibilities and seek alternative conclusions during reasoning is a major determinant of the way they make inferences (Gauffroy & Barrouillet, 2011; Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002; Markovits & Barrouillet, 2002).

One of those approaches is the retrieval-based model (Markovits, 2014a, 2014b, 2017; Markovits & Barrouillet, 2002), which claims that when making inferences, children will attempt to search for stored information in long-term memory that are possibilities consistent with the premises. According to this model, the initial

possibility that children produce during reasoning is the one entailed by the major premise "if P then Q", that is, the possible case "P and Q". Producing this possibility is sufficient for making the MP inference (i.e., "P, therefore Q") and there is no need to search for additional possibilities. This would explain why children understand, at a fairly young age, that the MP inference is certain. The main developmental predictions made by this model concern the way in which children reason with the AC inference (i.e., "Q, therefore P"), whose invited conclusion can only be identified as uncertain when alternative possibilities are produced. In this specific case, such possibilities will take the form of alternative antecedents in long-term memory, that is, possible cases of "not-P and Q" to the premise "if P then Q" (see Cummins, 1995; Cummins, Lubart, Alknis, & Rist, 1991; Thompson, 1995; Markovits & Vachon, 1990). For instance, the possibility "you are in the shower (not-P) and you are wet (Q)" would be an alternative antecedent to the major premise "if you go in the rain (P), then you will be wet (Q)". In order to correctly reject the AC inference, the model proposes that children must retain in their short-term memory the initial possibility entailed by the major premise, while also being able to produce alternative antecedents. Thus, cognitive factors that facilitate access to these possibilities are critical to understanding the development of deductive reasoning.

One such factor is related to the content of the premises used for reasoning. Children as young as 7 to 8 years of age show relatively high levels of correct deductive responding (i.e., accepting the MP inference and rejecting the AC inference for the same major premise) when the premises refer to a simple category-based relation for which alternative antecedents are readily activated in long-term memory, such as "if something is a dog, then it has legs" (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008). Younger preschool-aged children have, however, much more difficulty with this type of content (de Chantal & Markovits, 2017; Markovits & Thompson, 2008). One possible explanation for preschoolers' difficulty could be their limited knowledge base. However, by this age, children have acquired basic categories and can easily

generate exemplars of these categories if they are asked to do so (Horton & Markman, 1980). Thus, the difficulty that young children have in rejecting the invited conclusion of the AC inference is not a result of limited knowledge, but must be attributable to a failure to specifically produce alternative antecedents during the reasoning process.

Generating alternative antecedents is difficult, at least partially, because the necessity of maintaining premises in short-term memory strongly activates the information in the major premise. Producing alternative antecedents requires cognitive effort to overcome the resulting tendency to simply reactivate the possibility entailed by the major premise (i.e., "P and Q"), which would result in accepting the invited conclusion of the AC inference (Markovits & Quinn, 2002). Now, it might be possible to frame the progression of this cognitive effort within the development of executive functioning. For example, Barrouillet and Lecas (1999) have shown that developmental differences in working memory capacity determine the number of possibilities that children can retain in short-term memory during reasoning. Moreover, since working memory is related to information retrieval (Rosen & Engle, 1997), this makes it a reasonable factor to explain why retrieval of alternative antecedents is difficult for very young children. Another possible factor is inhibition. Other researchers, such as Houdé and colleagues (Houdé, 2000; Moutier, Plagne-Cayeux, Melot, & Houdé, 2006), have proposed that the development of inhibitory control allows children to gradually adopt correct reasoning strategies over more intuitive or incorrect responses. Thus, limitations in both working memory and inhibitory capacity could underlie preschooler's difficulty in generating alternative antecedents.

However, while working memory may well explain some developmental variability in reasoning abilities (e.g., Handley, Capon, Beveridge, Dennis & Evans, 2004), recent evidence suggests that it is not critical to understanding how young children

reason (Markovits, Brisson, de Chantal, & St-Onge, 2016). Similarly, de Chantal and Markovits (2017) have shown that preschoolers' very minimal ability to reason correctly with the AC inference is not related to performance on the Dimensional Change Card Sort task (Zelazo, 2006), a frequently used measure of inhibitory control in 3- to 5-year-olds (Kirkham, Cruess, & Diamond, 2003; Rennie, Bull, & Diamond, 2004), but was more closely related to their ability to generate possibilities in an unrelated idea generation task. In fact, performance on the latter task explained more variance in reasoning than differences in inhibition and age combined. More importantly, this study showed that giving the idea generation task beforehand leads to higher rates of deductive responding compared to giving the inhibition task. Such an intervention would not be effective if limited executive functioning was the determining factor in children's reasoning difficulties.

The idea that deductive reasoning is improved following an idea generation task suggests that preschoolers might have the basic capacity to generate alternative possibilities, but that they fail to do it spontaneously during reasoning without some form of activation. It should be noted, however, that this interpretation is limited by the absence of a neutral control condition, leaving open the possibility that the inhibition task could have decreased reasoning performance. Nevertheless, the results obtained by de Chantal and Markovits (2017) clearly suggest that inhibition is not the most important factor in defining the basic cognitive effort required to overcome the reactivation of the major premise and generate alternatives. In this study, we aim to better define the nature of this cognitive effort. We would argue that this is underpinned by a form of divergent thinking and, therefore, that early difficulties in reasoning might be better understood as difficulties in spontaneously using divergent thinking while reasoning.

Divergent thinking was first introduced by Guilford (1967) as a core operation of the intellect whose function is to create multiple ideas or alternative possibilities in

response to open-ended contexts (see also Runco, 2010). It is associated with shifting perspective and deviating from the usual responses suggested by a situation (Cropley, 2006). In addition to the number of ideas produced (ideational fluency), studies on divergent thinking typically emphasize the ability to come up with ideas from different conceptual categories (ideational flexibility) and more importantly, the potential to produce original ideas. This last distinctive dimension is perhaps the reason why divergent thinking is now widely perceived as having an important role in fostering the creativity of children and adults (Scott, Leritz, & Mumford, 2004), although it should be noted that this process is not synonymous with creative thinking (Runco & Acar, 2012). The purpose of divergent thinking tasks is to measure the ability to deviate from usual responses and propose novel ideas. For example, the Instances task asks children to generate as many different and original things that can make noise as possible (Wallach & Kogan, 1965). Similarly, the Torrance Tests of Creative Thinking (Torrance, 1974) include tasks in which children are asked to list causes and consequences to a situation to which there is neither a right nor a single answer.

Divergent thinking is frequently opposed to convergent thinking, which is oriented towards finding a single answer to a clearly defined problem or situation (Cropley, 2006). The definition of convergent thinking seems more in line with deductive reasoning, as the latter usually involves close-ended questions (e.g., dichotomous judgments of deductive certainty) and should, in its most classic terms, operate solely on the basis of given premises. Since divergent thinking appreciates uncertainty and novelty in open-ended contexts, this might lead to the intuition that the nature of deductive reasoning conflicts with divergent thinking. In fact, this has echoes in Guilford's (1967) analysis of the differential role of convergent and divergent thinking in deduction: "Convergent production is the proper place for deduction [...] The specification of "necessary" (in deductive reasoning) rules out divergent production. [...] We might say that in divergent production we are generating the

logical possibilities from given information, whereas in convergent production we are generating logical necessities." (pp. 215). However, this analysis relies on a strong dichotomy between possible and necessary conclusions, which narrows the scope of understanding of deductive reasoning. Our approach suggests that reasoning requires in fact a more open-ended process, and that the emerging ability of young children to use such a process might underlie the development of deductive reasoning.

As previously mentioned, understanding that the invited conclusion of the AC inference is merely possible, and therefore not necessary, requires that children deviate from the single antecedent presented in the major premise and consider alternative ones. When alternative antecedents are made explicitly available, children are more able to reason correctly (Markovits & Thompson, 2008; Daniel & Klaczynski, 2006). However, most naturalistic settings as well as experimental reasoning tasks do not present such alternatives and do not even indicate that searching for alternative antecedents is needed. Reasoning correctly with the MP inference (i.e., accepting that if P is true, then Q must be true) requires remaining in the semantic field defined solely by the antecedent and consequent terms of the major premise (e.g., Cummins et al., 1991; Simoneau & Markovits, 2003). On the other hand, reasoning correctly with the AC inference requires activating both this semantic field, which strongly suggests accepting the conclusion that the antecedent must be true, and nonetheless being able to produce an alternative antecedent. Thus, within the context of reasoning from a given set of premises, any form of alternative antecedent could be considered to be a novel possibility that must be produced by children in an open-ended manner, while maintaining the original premises in short-term memory. This would require the same sort of cognitive effort that is solicited when generating novel ideas in situations for which there are strongly associated and usual ideas, one of the key dimensions that divergent thinking tasks aim to capture. In other words, we argue that the ability to produce alternative antecedents could be conceived as a form of divergent thinking that is oriented towards the specific activity

of reasoning, in line with a recent approach that regards divergent thinking as a process involving task-specific components (Baer, 2014).

This hypothesis is partially supported by studies looking at the relation between deductive responding and individual differences on generation-of-alternatives tasks, which are quite similar to divergent thinking tasks. In these tasks, one must generate, from an initial "if P then Q" premise, as many alternative antecedents as possible. Several experiments have shown that the number of ideas produced (i.e., ideational fluency) correlates with the ability of children and adults to correctly identify the uncertainty of the AC inferences (De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2003; Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Markovits & Brunet, 2012; Verschueren, Schaeken, De Neys, & d'Ydewalle, 2004). However, these studies cannot distinguish between the ability to simply produce more ideas and the ability to create novel possibilities. Thus, evidence that divergent thinking plays a role in deductive reasoning remains suggestive.

Although preschool-aged children have the capacity to use divergent thinking (Bijvoet-van den Berg & Hoicka, 2014; Lloyd & Howe, 2003), they seem unable to spontaneously deploy the cognitive effort to generate alternative antecedents during reasoning. We hypothesized that such cognitive effort would be facilitated by specifically encouraging the production of original possibilities prior to reasoning, as opposed to the production of usual ideas. Original ideas are, by definition, remote to any possibilities usually generated and the production of such ideas thus mirrors the basic mechanism that we propose underlies deductive reasoning, that is, the ability to think beyond the single possibility entailed by the major premise. By contrast, retrieving many usual ideas can be performed with general retrieval processes and without involvement of the kind of cognitive effort we consider crucial for the emergence of deductive reasoning. We thus propose that providing support for

ideational originality would enable the cognitive effort to engage divergent thinking and search for alternative antecedents during reasoning.

The most direct way to test the role of divergent thinking, while controlling for developmental differences related to other cognitive factors, is to use an experimental design in which children randomly receive either divergent thinking or control exercises before a reasoning task. Once again, we hypothesized that encouraging the production of original possibilities would promote the emergence of deductive reasoning in preschoolers since this would encourage them to deploy the cognitive effort needed to search for alternative antecedents. In order to provide a clear test of this hypothesis, it is therefore necessary to experimentally manipulate the production of usual and original ideas in the divergent thinking exercises, a distinction that is central to the mechanism underlying our hypothesis. One way of doing so is suggested by results about what is called the fixation effect, sometimes referred to as the path of the least resistance (Ward & Kolomyts, 2010). This occurs when obvious ideas, whether introduced into the task or self-generated, constrain the ability to produce original ones. One direct way to activate this effect is to provide examples in divergent thinking tasks. Several studies have shown that providing examples of ideas which are usually produced in the task actually results in qualitative changes in the ideas produced, with children and adults showing lower levels of ideational originality (Agogu e et al., 2014; Cassotti et al., 2016; Marsh, Landau, & Hicks, 1996; Smith, Ward, & Schumacher, 1993). Interestingly, these studies do not show that providing examples has a significant impact on the number of ideas produced, and thus allows controlling the effect associated with simply encouraging the production of many ideas.

The fixation effect is both interesting in itself as an indication of the underlying nature of divergent thinking and provides a method for distinguishing the production of novel possibilities from other forms of information retrieval that would involve

producing usual ideas. Critically, previous studies that have found a relation between deductive reasoning and idea generation have not attempted to vary this dimension. Experimental studies using generation-of-alternatives exercises have presented examples of alternatives (Markovits, 2014b, 2017; Markovits & Brunet, 2012; Janveau-Brennan & Markovits, 1999). Similarly, the previously described study by de Chantal and Markovits (2017) also presented examples in the idea generation task, which was in fact quite similar to the Instances task, a classic divergent thinking measure (Wallach & Kogan, 1965). Thus, it remains unclear whether or not the effect of idea generation tasks on reasoning indicates a specific role of divergent thinking or a more general retrieval-based explanation.

In the present study, preschool-aged children were given the same divergent thinking exercises as in de Chantal and Markovits (2017), with the critical difference being that we systematically varied the provision of examples. If deductive reasoning simply requires general retrieval processes and is not sensitive to the activation of ideational originality, then the exercises with examples should be at least as effective, if not more so, than exercises without examples. However, if deductive reasoning indeed requires some form of originality, then exercises without examples should produce a stronger effect on deductive responding than the same exercises with examples. We also expect originality in the divergent thinking exercises to be lower in the former condition than in the latter, while the number of ideas produced should remain similar. This would indicate that our manipulation had the expected effect and would, in turn, provide additional conceptual validation of the basic relation between divergent thinking and deductive reasoning. In addition to these exercises, we administered a neutral control condition with preliminary exercises that were elaborated to rule out potentially confounding factors. Those exercises were conceived to engage a form of idea generation that does not specifically involve a divergent thinking component, and to prompt the same average number of ideas as the two other conditions (i.e., ideational fluency). More specifically, the control

exercises included questions about preferences, that is, questions concerning what children like the most (no examples were given in these exercises).

8.3 Study

8.3.1 Method

8.3.1.1 Participants

One hundred twenty children aged between 46 and 79 months and recruited in eight daycare centers in the region of Montreal, Canada, participated in the study (M age = 60.0 months, SD = 5.94, 65 boys and 55 girls). Children were predominantly Caucasian and were recruited in middle-class neighborhoods. Every parent signed a consent form, which also confirmed that children were mainly speaking French at home. Only three children reported speaking an additional language, but they had no difficulties completing the experiment.

8.3.1.2 Material

Computer-based presentation. The experiment was administered using a video presentation. The material was made using a 3D animation software designed for filmmaking. An undergraduate student in drama recorded the voice for the animated character. The tasks were explained by the character, but answers were written down by the experimenter sitting beside the child during the video presentation. The character also explained to children that they may ask questions to the experimenter.

The video was programmed to pause every time an answer was required and the experimenter took over the interaction until the child was done answering. The experimenter then clicked the space button to start the video back. The objective of this method was twofold. First, the tasks were incorporated in a playful context in order to arouse attention. Second, this method reduces variability in the way that experimenters interact with children and thus increases reliability in task administration.

Divergent thinking exercises. The divergent thinking exercises were adapted from de Chantal and Markovits (2017) and used content that was familiar to young children. In addition, the exercises were chosen to allow retrieval of ideas across different conceptual categories. The task in question consisted of three exercises administered in a fixed order and was introduced to children as the "give me ideas" game. The introduction to the task was the following (translated from the original French): "This is the "give me ideas" game. In this game, I will ask questions and you must give me as many ideas as you can."

The exercises were then presented verbally as follows:

Noise-exercise: "We can make noise with many things. [For example, we can use a whistle. We can also make noise with more original things. For example, by tearing a sheet of paper. Can you tell me other ways of making noise?] Give me as many ideas as you can."

Gift-exercise: "We can give many things as a gift. [For example, we can give a soft toy. We can also give something more original. For example, we can give chocolate. Can you tell me other things that could be given as a gift?] Give me as many ideas as you can."

Dirty-exercise: "We can get dirty with many things. [For example, we can get dirty with mud. We can also get dirty with something more original. For example, with ketchup. Can you tell me other ways of getting dirty?] Give me as many ideas as you can."

The examples used in the condition with examples were taken from de Chantal and Markovits (2017). Each exercise presented two examples, one of which was chosen to come from a common category of ideas that preschoolers would spontaneously produce, something that was confirmed from analysis of previous data. The second was chosen to be slightly more uncommon. For the present study, we decided to use both examples in order to ensure full replication of the material used in de Chantal and Markovits (2017). The exercises without examples were the same except that sentences within brackets (see above) were replaced by the following statement for each exercise: "I'd like to know more ways of making noise.", "I'd like to know other things that could be given as a gift." and "I'd like to know more ways of getting dirty."

Control exercises. The control exercises were introduced as the "tell me about yourself" game. This consisted of three questions administered in a fixed order. Questions were chosen to generate approximately the same number of ideas as in the divergent reasoning tasks, as indicated by pretesting. The introduction was the following (translated from the original French): "This is the "tell me about yourself" game. I'd like to learn a bit more about you. In this game, I will ask questions and you will tell me what you like the most."

The exercises were then presented verbally as follows:

"We all have colors that we like more than others and I'd like to know which ones you like the most. What are your favorite colors?"

"We all have games that we like more than others and I'd like to know which ones you like the most. What are your favorite games?"

"We all have things that we like to eat more than others and I'd like to know which ones you like the most. What are the things that you like to eat the most?"

Deductive reasoning task. The task was introduced to children as the "tell me if it's certain" game. The introduction was the following (translated from the original French): "This is the "tell me if it's certain" game. In this game, you have to tell me whether what I am saying is certain or not.". Both the formulation and the content were adapted for very young children (Markovits, 2000). The task consisted of four syllogistic reasoning problems with a category-based major premise of the form "All A have B" and allowed for many alternative antecedents (e.g., "All dogs have legs"). For each of the four major premises, the syllogistic equivalent to the MP inference (i.e., C is A, is it certain that C has B?) was given first, followed by the AC inference (i.e., C has B, is it certain that C is A?). It should be noted that there is currently no evidence of any order effect between the MP and the AC inferences. A detailed description of the deductive reasoning task can be found in the appendix. While the question format for the judgments of certainty suggests a "yes-no" answer, experimenters recorded "I don't know" answers as well. Additionally, they were instructed to ask for justifications in a standardized manner.

Knowledge-comprehension check. This verification was done by the experimenter instead of the animated character. It consisted in explicitly asking for an alternative antecedent for each of the four major premises (e.g., "Besides a truck, could you tell me something else that has wheels?"). Experimenters were instructed to continue to another question as soon as the child retrieved one instance. This verification was done for two different purposes. A first was to verify whether children have sufficient

knowledge about the premises to allow retrieval of information. Given the familiar nature of the premises used in the reasoning problems, very few children were expected to fail the verification for this reason. Second, it also served as a means to identify children who had a difficulty understanding the formulation of the questions and therefore, understanding the problems of the precedent reasoning task.

8.3.1.3 Procedure

All four experimenters, who were blind to the study's hypothesis, received the same training for administering the experiment and interacting with children. Children were examined individually in a separate room of the daycare center and asked to sit in front of a computer screen. The experimenter was sitting beside the child. A white board was displaced on the table in order to hide surrounding objects. This was done to prevent children from using environmental cues in the exercises and to limit distractions. We used a between-subjects design involving three conditions. Children were first randomly given either the divergent thinking exercises with examples (DT-examples), the divergent thinking exercises without examples (DT-free) or the control exercises. While children generated ideas, experimenters were not allowed to give feedback nor encouragement. However, they were instructed to stimulate generation ("Do you have any different ideas?") whenever the child stopped giving ideas for more than about five seconds. The experimenters were instructed to continue to another exercise only when children said they could not find more ideas. This precaution was used to avoid interrupting the flow of ideas. Children were then given the deductive reasoning task and the knowledge-comprehension check part at the end. If the child did not understand a part of the tasks, experimenters were allowed to repeat the missing part themselves. The experiment took between 7 and 12 minutes to complete and children were then rewarded with a sticker.

8.3.2 Results

Of the original sample, three children were excluded from further analysis because the experiment was incomplete, two were excluded as the experiment deviated from the standardized protocol and five were excluded as the educators of the daycare reported verbal production and/or comprehension difficulties. Finally, seven children (DT-examples = 4, DT-free = 1, control = 2) were excluded from the analysis as they failed the four knowledge-comprehension check questions. However, it should be noted that including these children in the statistical analysis yielded a similar pattern of results. Following analyses were thus performed with 103 children aged between 46 and 79 months ($M = 60.3$, $SD = 5.69$, 51 boys and 52 girls). There were 32 (M age = 59.3, $SD = 5.60$, 16 boys and 16 girls), 32 (M age = 60.2, $SD = 5.96$, 19 boys and 13 girls), and 39 (M age = 61.1, $SD = 5.55$, 16 boys and 23 girls) children in the DT-examples, DT-free and control conditions, respectively. There was no significant difference between conditions for age, $F(2, 100) = 0.90$, $p = .41$, and randomization led to similar distributions of sex, $\chi^2(2, N = 103) = 2.37$, $p = .31$.

Performance on the reasoning task. An initial analysis examined performance on the MP and the AC inferences separately. Correct answers to the MP inferences were judgments of certainty (i.e., "yes it's certain"), whereas correct answers to the AC inferences were judgments of uncertainty (i.e., "no it's not certain"). Responses corresponding to "I don't know" were considered incorrect for both inferences. A score for each inference (MP score, AC score) was created by using the sum of correct judgments (0 to 4). The mean MP score, regardless of condition, was 3.87 ($SD = 0.50$, mode = 4), whereas the mean AC score was lower at 1.25 ($SD = 1.61$, mode = 0).

We then analyzed the pattern of deductive responding. As previously outlined in the introduction, we computed a reasoning score that considered the combined performance on the MP and AC inferences. For each of the four problems, children received one point if they accepted the MP inference and rejected the AC inference, with the deductive reasoning score being the sum of points (0 to 4). The mean deductive reasoning score, regardless of condition, was 1.18 ($SD = 1.56$, mode = 0). Kolmogorov-Smirnov tests indicated that deductive reasoning scores significantly deviate from normality, but were not different from a Poisson distribution. We thus performed a Poisson loglinear regression, with deductive reasoning score as dependent variable, condition (DT-free, DT-examples, control) as independent variable and age (in months) as covariable. This showed that condition significantly contributed to differences in reasoning scores, Wald $\chi^2(2) = 13.63$, $p < .01$, whereas age was not a significant contributor, Wald $\chi^2(1) = 2.79$, $p = .10$. Pairwise comparisons with Bonferroni correction showed that deductive reasoning scores were higher for children in the DT-free condition ($M = 1.97$, $SD = 1.75$), compared to children in the control condition ($M = 0.62$, $SD = 1.21$; $p < .001$). More importantly, children in the DT-free condition had higher reasoning scores than those in the DT-examples condition ($M = 1.09$, $SD = 1.47$; $p < .05$). However, the difference between the DT-examples and the control conditions was only marginally significant ($p = .06$). In order to provide convergent statistical evidence, we also performed an ANCOVA with log-transformed deductive reasoning score as dependent variable, condition (DT-free, DT-examples, control) as independent variable and age (in months) as covariable. This showed a significant effect of condition, $F(2, 99) = 7.99$, $p < .01$, $\eta^2 = .139$, and a non-significant effect of age, $F(1, 99) = 2.40$, $p = .12$, $\eta^2 = .024$. Planned contrasts revealed a pattern that was consistent with previous analysis. Children in the DT-free condition had significantly higher reasoning scores than those in the control condition, $CE = .59$, $p < .001$, and DT-examples condition, $CE = .34$, $p < .05$, but the difference between the DT-examples and control condition was not statistically significant, $CE = .25$, $p = .10$. These results clearly support our main

prediction and show that the effect of the divergent thinking exercises on reasoning is greater when no examples are provided. Although not consistently significant at the .05 level, the analysis additionally suggests that the divergent thinking exercises with examples tended to be more effective than the control exercises. As illustrated in Figure 8.1, there is a clear trend in the reasoning score as a function of condition.

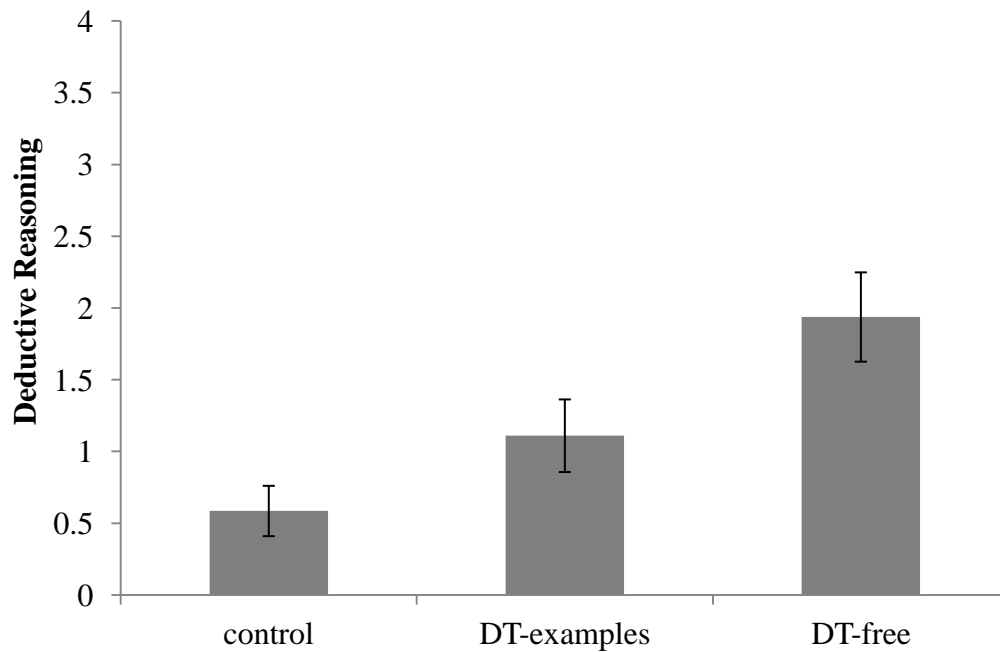


Figure 8.1 Mean deductive reasoning score by condition (control, DT-examples, DT-free). Error bars represent standard errors.

Justifications in the reasoning task. Children's explicit justifications in the reasoning problems were then examined. Justifications were grouped into five distinct categories, which accounted for more than 85% of all justifications. The first category included references to empirical knowledge about the premises (e.g., "it has legs because otherwise the dog couldn't walk" and "the orange can be eaten because it

gives vitamins"). The second category included justifications referring either to the minor premise or the major premise itself (e.g., "it's a truck because it has wheels" and "the fly has wings because all flies have wings"). The third category referred to alternative antecedents (e.g., "cats have legs too" and "other fruits can be eaten"). The fourth category referred to what is known as disabling conditions (Cummins et al., 1991), which are also possibilities that children can produce during reasoning. These are conditions that can undo the relation between the antecedent and the consequent terms (e.g., "the orange is made of plastic" and "maybe the truck is changing its wheels"). A fifth category was comprised of "I don't know" justifications. Finally, justifications that matched none of the categories above were included in the "other" category. Table 8.1 shows the percentages of each type of justification in the sample according to the type of inference (MP, AC) and performance (correct, incorrect).

Table 8.1

Percentage of justifications (empirical, premises, alternative antecedents, disabling conditions, "I don't know", others) by inference (MP, AC) and performance (correct, incorrect)

		Empirical	Premises	Alternative antecedents	Disabling conditions	"I don't know"	Others
	Total	32.8	22.0	11.6	3.0	14.6	16.0
MP	Correct	52.8	24.5	0.3	3.5	8.6	10.4
	Incorrect	8.3	0.0	8.3	83.3	0.0	0.0
	Total	51.5	23.8	0.5	5.9	8.3	10.0
AC	Correct	1.6	0.8	55.0	0.0	15.5	27.1
	Incorrect	19.0	29.7	7.6	0.0	24.0	19.8
	Total	13.3	20.2	23.2	0.0	21.2	22.2

Note. The percentage of alternative antecedents produced when children correctly performed on the AC inference is displayed in bold.

Some key observations can be made from Table 7.10, but the most straightforward is that alternative antecedents were mostly generated following correct responses on the AC inference. A chi-square analysis with performance on the AC inference (correct, incorrect) and the types of justification (empirical, premises, alternative antecedents, disabling conditions, "I don't know", "other") was performed. This showed a significant difference between distributions, $\chi^2(5, N = 392) = 210.69, p < .001$. More specifically, the proportion of correct responses to the AC inference (i.e., judgments of uncertainty) that were followed by a justification referring to alternative antecedents (55%) was significantly greater than was the case for incorrect responses (8%). A chi-square analysis was also repeated with the MP inferences. This showed a significant difference between distributions, $\chi^2(5, N = 408) = 151.27, p < .001$. Similarly to the AC inference, the proportion of incorrect responses to the MP inference (i.e., judgments of uncertainty) that were followed by a justification referring to disabling conditions (83%) was greater than was the case for correct responses (4%). This suggests that children were explicitly thinking about the reasoning problems and that alternative ideas were generated following judgments of uncertainty, consistent with other studies (e.g., Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Markovits & Thompson, 2008).

Performance on the divergent thinking and control exercises. The control exercises were constructed in order to elicit a similar level of verbal activation. To measure this, we computed the average number of ideas provided by children after redundant ideas were removed. For the ideas produced in the DT-examples condition, we also eliminated exact repetitions of the examples provided in the exercises. An ANCOVA with the mean number of ideas as dependent variable, condition (DT-free, DT-examples, control) as independent variable and age (in months) as covariable was performed. The effect of condition, $F(2, 99) = 0.23, p = .80$, as well as the effect of

age, $F(1, 99) = 0.04$, $p = .84$, showed to be non-significant. The mean number of ideas was 3.12 ($SD = 2.21$), 3.47 ($SD = 1.71$) and 3.23 ($SD = 2.17$) for the DT-examples, DT-free and control conditions, respectively. This shows that the control exercises were equivalent to the divergent thinking exercises with respect to verbal activation.

We then specifically examined the divergent thinking exercises. Psychometric studies on divergent thinking are numerous and have suggested several scoring methods, but we decided to use the three most studied dimensions, namely ideational fluency, flexibility and originality (Runco, 2010). Fluency is the number of ideas generated and flexibility is defined as the number of conceptual categories covered by the ideas (see Runco, 1985). Originality was based on statistical rarity, but it is important to note that there is no clear consensus about the best method to capture ideational originality. However, methods that rely on statistical rarity are frequently used in the research on divergent thinking (Hocevar & Michael, 1979; Wallach & Kogan, 1965). We decided to use the uniqueness of ideas as an index for originality (Wallach & Kogan, 1965), which consists of summing the number of ideas that were generated once in the sample. This is perhaps the most frequently used measure of originality, although several authors have highlighted that this method is confounded with fluency (e.g., Silvia, 2008). We thus decided to divide the number of unique ideas on a given exercise by its fluency, as previously suggested (e.g., Hocevar & Michael, 1979).

In order to facilitate the analysis, we first cleaned up the ideational pool by assigning standardized labels to ideas. When we noted that a child tended to repeat the same idea with different wording, we assigned the same label and applied this labeling rule to the other children in the sample. For instance, both "say hello" and "talk loudly" was transformed into "talk" (i.e., for the noise-exercise) for all children. Similarly, both "a clown costume" and "a princess costume" was transformed into "costume"

(i.e., for the gift-exercise). We decided to standardize because labeling similar ideas as different ideas would have resulted in overestimating the originality dimension for some children. It should be noted, however, that this procedure did not change the fluency nor the flexibility dimensions.

We decided to develop a computer program that would automatically take over parts of the coding process in order to reduce the risk of mistakes. The program reduced the ideational pool of the sample into lexicons for each exercise, that is, lists of non-redundant ideas and their corresponding frequency in the sample. The ideas generated in both conditions were combined for this procedure. This method is thus blind to the DT condition and led to a total of 93, 133 and 90 different ideas for the noise-, gift- and dirty-exercise, respectively. Two research assistants then created a list of relevant conceptual or thematic categories for each lexicon, similar to the procedure used by Runco (1985). They were instructed to create a new category each time at least three ideas could be regrouped under a more meaningful label. This led to six, nine, and seven categories for the noise-, gift- and dirty-exercise, respectively. Some ideas were unclassifiable due to their uniqueness in the sample and those were assigned to a category referring to "other". Two coders then assigned a category to all ideas of each lexicon. Cohen's Kappas showed good inter-rater agreements of .77, .75 and .64 for the noise-, gift- and dirty-exercise, respectively. Disagreements between the raters were discussed and settled. At this point, the lexicons included a list of non-redundant ideas, their frequency in the sample and their corresponding category. A table in the appendix summarizes, for each exercise, the list of categories, selected examples and the percentage of ideas corresponding to each category according to condition (DT-examples, DT-free).

The program then carried out scoring for each participant in the dataset. For each exercise, it calculated the number of ideas generated (fluency), as well as the number of categories covered (flexibility) and the number of unique ideas divided by the

fluency (originality) using the lexicons previously created. It should be noted that every idea assigned to the category "other" was given one point in the flexibility calculus because such ideas are, by definition, outside any other category. Cronbrach's alphas showed acceptable inter-item reliability for fluency ($\alpha = .74$) and flexibility ($\alpha = .71$). The alpha coefficient for originality was much lower ($\alpha = .40$), which is expected when dividing by fluency (see Hocevar & Michael, 1979). However, the reliability for the number of unique ideas across the exercises (not divided by fluency) was acceptable ($\alpha = .67$). It should be noted that the very limited number of exercises, as well as the fixed order, might have contributed to lower the alpha coefficients. It is also important to note that the divergent thinking exercises were not designed to be completely equivalent, but rather to encourage divergent thinking through different types of activities. For subsequent analysis, we created fluency, flexibility and originality scores with the average score over the three exercises. Table 8.2 shows the mean values for each score in the two DT conditions.

Table 8.2

Divergent thinking scores (fluency, flexibility, originality) by condition (DT-examples, DT-free)

	Fluency	Flexibility	Originality
DT-examples ($n = 32$)	3.13 (2.21)	1.98 (1.43)	0.19 (0.21)
DT-free ($n = 32$)	3.45 (1.72)	2.05 (0.81)	0.30 (0.17)
Total ($n = 64$)	3.29 (1.97)	2.02 (1.16)	0.24 (0.20)

Note. Numbers in parentheses are standard deviations.

As previously indicated, we provided examples in order to specifically reduce ideational originality. Thus, we predicted that originality would be lower in the DT-examples condition than in the DT-free condition, while the number of ideas would

be similar. In order to confirm this effect, we examined the extent to which children in the two DT conditions differed with respect to the dimensions of divergent thinking. To analyze this, we performed three different ANOVAs with the log-transformed divergent thinking scores (fluency, flexibility, originality) as dependent variables, condition (DT-free, DT-examples) as independent variable and age (in months) as covariable. Following comparisons are expressed with the original scale (not log-transformed). This only showed a significant effect of condition on originality scores, $F(1, 61) = 5.49, p < .05, \eta_p^2 = .083$. Originality was greater in the DT-free condition ($M = .30, SD = 0.17$) than in the DT-examples condition ($M = .19, SD = 0.21$). However, there was no statistically significant effect on fluency, $F(1, 61) = 1.60, p = .21$, and flexibility, $F(1, 61) = 0.77, p = .38$. This is consistent with previous results examining the effects of providing examples in divergent thinking tasks and suggests that children in the DT-examples condition displayed lower levels of divergent thinking in terms of originality, but not in terms of fluency nor flexibility.

Finally, we looked at the pattern of correlations to examine whether individual differences in divergent thinking were related to higher rates of deductive responding. We analyzed this pattern separately for each DT condition. Table 8.3 summarizes the partial correlations between the divergent thinking dimensions (fluency, flexibility, originality) and the deductive reasoning score, with age as control variable. Examination of this table indicates different patterns of relations according to condition. There is a positive relation between all three dimensions of divergent thinking and reasoning in the DT-examples condition, but not in the DT-free condition. We then performed Fisher r -to- z transformations in order to statistically compare the correlations between conditions, with $\alpha = .05$. The results show consistent marginal differences, with fluency ($Z = 1.27, p = .10$), flexibility ($Z = 1.61, p = .054$) and originality ($Z = 1.27, p = .08$) tending to be more strongly related to reasoning in the DT-examples than in the DT-free condition.

Table 8.3

Intercorrelations (age as control variable) between the deductive reasoning score and the divergent thinking scores (fluency, flexibility, originality) by condition (DT-examples, DT-free)

	DT-examples			DT-free		
	1	2	3	1	2	3
Deductive reasoning	.45*	.48**	.36*	.15	.10	.02
1. Fluency	–	.89**	.62**	–	.88**	-.11
2. Flexibility		–	.74**		–	.06
3. Originality			–			–

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$

8.4 Discussion

The ability to reach necessary conclusions and withhold merely possible ones is the cornerstone of deductive reasoning. The questions of how this ability operates and develops from childhood to adulthood have become central to the psychology of reasoning. In this study, we specifically examined reasoning with inferences analog to the *Modus Ponens* (MP) and the Affirmation of the Consequent (AC). It was argued that the ability to correctly make the MP inference, while being able to resist the invited conclusion of the AC inference, is the clearest indicator of a basic deductive competence. Studies on the development of deductive reasoning have shown that such an ability is subject to important changes from the preschool years to the arrival of adolescence (de Chantal & Markovits, 2017; Janveau-Brennan & Markovits, 1999;

Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008; Müller, Overton, & Reene, 2001; O'Brien, 1987). In the right supportive circumstances, even primary school children of 7 to 8 years old demonstrate a basic deductive competence (Markovits, 2000; Markovits & Thompson, 2008), whereas there is no evidence that this is the case for younger preschool-aged children (de Chantal & Markovits, 2017).

There is little consensus about the cognitive factors underlying the development of deductive reasoning (for a review, see Ricco, 2010). According to the retrieval-based model of inference (see Markovits & Barrouillet, 2002), deductive reasoning emerges when children develop the ability to deviate from the premises and produce novel possibilities that are only implicit in the reasoning problem. We argued that such an ability requires a cognitive effort that could be conceived as a form of divergent thinking (Guilford, 1967; Runco, 2010). In this study, we examined the possibility that preschoolers' difficulty in reasoning correctly with AC inferences is due at least partially to their inability to adequately engage divergent thinking during the reasoning process, and that it could be improved by specifically intervening on ideational originality beforehand. To test this hypothesis, we conducted an experimental study in which children randomly received, before reasoning problems, divergent thinking exercises or neutral control exercises designed to rule out potentially confounding factors. In order to isolate the specific contribution of the ability to produce novel and original ideas, as opposed to many usual ones, divergent thinking exercises were presented either with or without examples. There is evidence that providing examples of ideas constrains access to divergent thinking and original cases (Agogu e et al., 2014; Cassotti et al., 2016; Marsh, Landau, & Hicks, 1996; Smith, Ward, & Schumacher, 1993). We predicted that children receiving the divergent thinking exercises without examples (DT-free) would show higher rates of deductive responding than children receiving the same exercises with examples (DT-examples), since encouraging originality would help children deploy the cognitive effort needed to search for alternative antecedents.

The results are clearly consistent with our prediction and showed that levels of deductive reasoning, as measured by the acceptance of the MP inference and the rejection of the AC inference for the same major premise, vary according to the provision of examples in the divergent thinking exercises (see Figure 8.1). Children receiving the exercises without examples performed better than children receiving the exercises with examples and those receiving the control exercises. While children in all three conditions produced as many ideas in the idea generation task, those in the DT-free condition produced, on average, more original ones. This suggests that encouraging ideational originality is more of a determining factor than simply encouraging ideational fluency, and provides discriminant validity of the effect of ideational originality on deductive reasoning. This is, to our knowledge, the first study that makes a clear connection between the development of deductive reasoning and the ability to produce novel possibilities through divergent thinking.

It is worth noting that the difference between the control condition and the exercises with examples in this study was only marginally significant ($p = .06$), in contrast to the clear difference obtained by de Chantal and Markovits (2017). This is due to the fact that in the present study, children in the more neutral control condition performed relatively better than those receiving the inhibition condition in de Chantal and Markovits (2017), while performances following the DT-examples exercises were identical. This is consistent with the idea that the inhibitory task resulted in a decrease in deductive responding. It is also important to put the results of the current study into a broader developmental perspective. First, the default response usually shown by preschoolers is to accept the invited conclusion of the AC inference, just as is the case for the MP inference. This indicates very poor deductive reasoning at this age. Performance in the control and DT-examples conditions (16% and 27%, respectively) are consistent with this tendency. The latter compares reasonably well to the performance of 6-year-olds on similar problems (38%), as found in Markovits and Thompson (2008). By contrast, the rate of correct deductive responding in the DT-

free condition (49%) was well above that found with 6-year-olds, although less than the 7-year-olds in the latter study (92%). In other words, giving the DT-free exercises, which provided support for originality, allowed the 4- to 5-year-olds in this study to reason correctly at levels spontaneously found in children of 6 to 7 years of age. This suggests that divergent thinking is of particular importance for the emergence of deductive reasoning.

Additional evidence comes from the correlation patterns obtained in this study. The results show that when examples are given in the divergent thinking exercises, individual differences in ideational fluency, flexibility and originality are related to reasoning performance (see Table 8.3). In fact, de Chantal and Markovits (2017) found a similar pattern of results for ideational fluency and flexibility, but did not include a measure of originality. Thus, the current study replicates past findings and also extends them to ideational originality. More specifically, this correlation shows that children who were able to generate original ideas despite being given examples performed better on the deductive reasoning problems. This provides concurrent support for the role of divergent thinking. Interestingly, children who were not given examples showed less strong relations between divergent thinking and reasoning. This is presumable because the DT-free exercises enabled children who would not spontaneously use divergent thinking during reasoning to do so, thereby attenuating pre-existing individual differences on this dimension. Another similar effect is the absence of correlations between originality and the two other dimensions when children received the DT-free exercises. Once again, it is consistent with the idea that this condition specifically promoted originality among children, while not changing fluency or flexibility.

Developmental studies have shown that young children have the capacity to use divergent thinking (Bijvoet-van den Berg & Hoicka, 2014; Lloyd & Howe, 2003) and that it can be encouraged to foster creativity (e.g., Cliatt, Shaw, & Sherwood, 1980).

Similarly, this study has shown that encouraging divergent thinking, and more specifically ideational originality, has a positive impact on the deductive reasoning of preschool-aged children. As we have seen, the rate of correct responding following the exercises without examples compares favorably with spontaneous rates found in older children. Another indication of the specific effect of the divergent thinking exercises is the fact that children very frequently justify their response to the AC inference with one (or more) alternative antecedents, which suggests that they were able to generate alternative possibilities beyond the initial possibility entailed by the major premise. Therefore, these results support the general hypothesis that learning to coordinate divergent thinking during reasoning is a critical factor underlying the emergence of deductive reasoning (see also Markovits, 2014a). The very low proportion of children who showed correct deductive reasoning in the absence of divergent thinking exercises is consistent with the idea that preschool-aged children have the basic skills required to distinguish between necessary and possible conclusions, but they must be encouraged to use divergent thinking in order to activate this potential.

The experimental design used in this study made it possible to conclude that activation of divergent thinking significantly improves the reasoning of preschoolers. However, this effect was measured in the short term and it is impossible to determine how long it lasts. Moreover, since the experiment was not designed to capture whether the divergent thinking exercises led to quantitative or qualitative changes in the justifications given in the reasoning task, it is impossible to define the exact nature of this effect on the kind of alternative possibilities produced. In addition, although the pattern of correlations provide concomitant evidence supporting the role of divergent thinking, these must be interpreted with caution. We controlled for age, but the observed relations could be explained by other individual differences not measured in this study, especially in the DT-examples condition. Future studies with larger sample sizes are needed to account for more diverse individual differences.

Finally, another limitation concerns the relative homogeneity of our sample, which mainly included children from middle-class neighborhoods with little variation in Socio-Economic Status (SES). This could in turn limit the generalizability of our findings. Studying interactions with SES could have important implications, both theoretical and practical (e.g., Markovits & Brunet, 2012).

Finally, the results of this study suggest the possibility of a more varied approach to the training of deductive reasoning skills. Many approaches to improving deductive reasoning in older children concentrate on the understanding of "logical" principles and other formal aspects (e.g., Christoforides, Spanoudis & Demetriou, 2016; Overton, Byrnes, & O'Brien, 1985; Staudenmayer & Bourne, 1977). However, including divergent thinking as a component of reasoning skills suggests that training the ability to generate novel and original ideas, while teaching more formal aspects related to the interplay between possibility and necessity, might be a powerful way to improve reasoning. This approach is consistent with the ideas of Nickerson (2004) who has argued that teaching reasoning must address the general ability to deal effectively with uncertainty and the ability to take alternative perspectives. The author also stresses the importance of developing a sensitivity to missing information. There is a clear parallel between this and the central idea of generating alternative antecedents during deductive reasoning, which can be seen as a form of missing information since these are not directly presented in the premises. Critically, one must think beyond the possibilities entailed by a given premise in order to generate the alternative possibilities required to understand uncertain inferences. Thus, an approach that stresses the idea that deductive reasoning is not only about getting the "right" answer, but requires going beyond the most obvious ideas in order to generate even very unlikely possibilities would be very useful, certainly in the earliest stages of deductive reasoning. As a corollary, seeing some aspects of deductive reasoning as an instantiation of a form of creative thinking would allow a more flexible

understanding of the nature of such reasoning, and would allow the creation of more diverse educational interventions at the same time.

8.5 Références

- Agogué, M., Kazakçi, A., Hatchuel, A., Masson, P., Weil, B., Poirel, N., & Cassotti, M. (2014). The impact of type of examples on originality: Explaining fixation and stimulation effects. *The Journal of Creative Behavior*, *48*, 1-12. doi: 10.1002/jocb.37
- Baer, J. (2014). *Creativity and divergent thinking: A task-specific approach*. Psychology Press.
- Barrouillet, P., & Lecas, J. F. (1999). Mental models in conditional reasoning and working memory. *Thinking & Reasoning*, *5*, 289-302. doi: 10.1080/135467899393940
- Bijvoet-van den Berg, S., & Hoicka, E. (2014). Individual differences and age-related changes in divergent thinking in toddlers and preschoolers. *Developmental psychology*, *50*, 1629-1639. doi: 10.1037/a0036131
- Braine, M. D. S. (1990). The "natural logic" approach to reasoning. In W. F. Overton (Ed.), *Reasoning, necessity, and logic: Developmental perspectives* (pp. 133-157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cassotti, M., Camarda, A., Poirel, N., Houdé, O., & Agogué, M. (2016). Fixation effect in creative ideas generation: Opposite impacts of example in children and adults. *Thinking Skills and Creativity*, *19*, 146-152. doi: 10.1016/j.tsc.2015.10.008
- Christoforides, M., Spanoudis, G., & Demetriou, A. (2016). Coping with logical fallacies: A developmental training program for learning to reason. *Child development*, *87*, 1856-1876. doi: 10.1111/cdev.12557

- Cliatt, M. J. P., Shaw, J. M., & Sherwood, J. M. (1980). Effects of training on the divergent-thinking abilities of kindergarten children. *Child Development, 51*, 1061-1064. doi: 10.2307/1129544
- Cropley, A. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity research journal, 18*, 391-404. doi: 10.1207/s15326934crj1803_13
- Cummins, D. D. (1995). Naive theories and causal deduction. *Memory & cognition, 23*, 646-658. doi: 10.3758/BF03197265
- Cummins, D. D., Lubart, T., Alksnis, O., & Rist, R. (1991). Conditional reasoning and causation. *Memory & cognition, 19*, 274-282. doi: 10.3758/BF03211151
- Daniel, D. B., & Klaczynski, P. A. (2006). Developmental and individual differences in conditional reasoning: Effects of logic instructions and alternative antecedents. *Child Development, 77*, 339-354. doi: 10.1111/j.1467-8624.2006.00874.x
- de Chantal, P. L., & Markovits, H. (2017). The capacity to generate alternative ideas is more important than inhibition for logical reasoning in preschool-age children. *Memory & cognition, 45*, 208-220. doi: 10.3758/s13421-016-0653-4
- De Neys, W., Schaeken, W., & D'Ydewalle, G. (2003). Inference suppression and semantic memory retrieval: Every counterexample counts. *Memory & Cognition, 31*, 581-595. doi: 10.3758/BF03196099
- Dias, M. G., & Harris, P. L. (1988). The effect of make - believe play on deductive reasoning. *British journal of developmental psychology, 6*, 207-221. doi: 10.1111/j.2044-835X.1988.tb01095.x
- Dias, M. G., & Harris, P. L. (1990). The influence of the imagination on reasoning by young children. *British Journal of Developmental Psychology, 8*, 305-318. doi: 10.1111/j.2044-835X.1990.tb00847.x
- Gauffroy, C., & Barrouillet, P. (2011). The primacy of thinking about possibilities in the development of reasoning. *Developmental Psychology, 47*, 1000-1011. doi: 10.1037/a0023269
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.

- Handley, S. J., Capon, A., Beveridge, M., Dennis, I., & Evans, J. S. B. (2004). : Working memory, inhibitory control and the development of children's reasoning. *Thinking & Reasoning*, *10*, 175-195. doi: 10.1080/13546780442000051
- Hawkins, J., Pea, R. D., Glick, J., & Scribner, S. (1984). " Merds that laugh don't like mushrooms": Evidence for deductive reasoning by preschoolers. *Developmental Psychology*, *20*, 584-594. doi: 10.1037/0012-1649.20.4.584
- Hocevar, D., & Michael, W. B. (1979). The effects of scoring formulas on the discriminant validity of tests of divergent thinking. *Educational and Psychological Measurement*, *39*, 917-921. doi: 10.1177/001316447903900427
- Horton, M. S., & Markman, E. M. (1980). Developmental differences in the acquisition of basic and superordinate categories. *Child development*, *51*, 708-719. doi: 10.2307/1129456
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive development*, *15*, 63-73. doi: 10.1016/S0885-2014(00)00015-0
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic Books.
- Janveau-Brennan, G., & Markovits, H. (1999). The development of reasoning with causal conditionals. *Developmental Psychology*, *35*, 904-911. doi:10.1037/0012-1649.35.4.904
- Johnson-Laird, P., & Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale: Erlbaum.
- Johnson-Laird, P., & Byrne, R. M. J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, *109*, 646-678. doi:10.1037/0033-295X.109.4.646
- 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. doi: 10.1111/1467-7687.00300

- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science education*, 77, 319-337. doi: 10.1002/sce.3730770306
- Lloyd, B., & Howe, N. (2003). Solitary play and convergent and divergent thinking skills in preschool children. *Early Childhood Research Quarterly*, 18, 22-41. doi: 10.1016/S0885-2006(03)00004-8
- Markovits, H. (2000). A mental model analysis of young children's conditional reasoning with meaningful premises. *Thinking & Reasoning*, 6, 335-347. doi: 10.1080/135467800750038166
- Markovits, H. (2014a). How to develop a logical reasoner: A hierarchical model of the role of divergent thinking in the development of conditional reasoning. In H. Markovits (Ed.), *The developmental psychology of reasoning and decision-making* (pp. 148–164). Hove: Psychology Press.
- Markovits, H. (2014b). On the road toward formal reasoning: Reasoning with factual causal and contrary-to-fact causal premises during early adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 128, 37-51. doi: 10.1016/j.jecp.2014.07.001
- Markovits, H. (2017). In the beginning stages: Conditional reasoning with category based and causal premises in 8-to 10-year olds. *Cognitive Development*, 41, 1-9. doi: 10.1016/j.cogdev.2016.10.002
- Markovits, H., & Barrouillet, P. (2002). The development of conditional reasoning: A mental model account. *Developmental Review*, 22, 5-36. doi: 10.1006/drev.2000.0533
- Markovits, H., Brisson, J., de Chantal, P. L., & St-Onge, C. M. (2016). Elementary schoolchildren know a logical argument when they see one. *Journal of Cognitive Psychology*, 28, 877-883. doi: 10.1080/20445911.2016.1189918
- Markovits, H., & Brunet, M. L. (2012). Priming divergent thinking promotes logical reasoning in 6-to 8-year olds: But more for high than low SES students. *Journal of Cognitive Psychology*, 24, 991-1001. doi: 10.1080/20445911.2012.729034
- Markovits, H., & Quinn, S. (2002). Efficiency of retrieval correlates with “logical” reasoning from causal conditional premises. *Memory & Cognition*, 30, 696-706. doi: 10.3758/BF0396426

- Markovits, H., & Thompson, V. (2008). Different developmental patterns of simple deductive and probabilistic inferential reasoning. *Memory & Cognition*, *36*, 1066-1078. doi: 10.3758/MC.36.6.106
- Markovits, H., & Vachon, R. (1989). Reasoning with contrary-to-fact propositions. *Journal of experimental child psychology*, *47*, 398-412. doi: 10.1016/0022-0965(89)90021-0
- Markovits, H., & Vachon, R. (1990). Conditional reasoning, representation, and level of abstraction. *Developmental Psychology*, *26*, 942-951.
- Marsh, R. L., Landau, J. D., & Hicks, J. L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory & cognition*, *24*, 669-680. doi: 10.3758/BF03201091
- McCrae, R. R. (1987). Creativity, divergent thinking, and openness to experience. *Journal of personality and social psychology*, *52*, 1258-1265. doi: 10.1037/0022-3514.52.6.1258
- Morsanyi, K., McCormack, T., & O'Mahony, E. (2017). The link between deductive reasoning and mathematics. *Thinking & Reasoning*, *24*, 1-24. doi: 10.1080/13546783.2017.1384760
- Moutier, S., Plagne - Cayeux, S., Melot, A. M., & Houdé, O. (2006). Syllogistic reasoning and belief - bias inhibition in school children: evidence from a negative priming paradigm. *Developmental Science*, *9*, 166-172. doi: 10.1111/j.1467-7687.2006.00476.x
- Müller, U., Overton, W. F., & Reese, K. (2001). Development of conditional reasoning: A longitudinal study. *Journal of Cognition and Development*, *2*, 27-49. doi: 0.1207/S15327647JCD0201_2
- Nickerson, R. S. (2004). Teaching reasoning. In J. P. Leighton & R. J. Sternberg (Eds.), *The nature of reasoning* (pp. 410 – 442). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- O'Brien, D. P. (1987). The development of conditional reasoning: An iffy proposition. *Advances in child development and behavior*, *20*, 61-90.

- Overton, W., Byrnes, J. P., & O'Brien, D. P. (1985). Developmental and individual differences in conditional reasoning: The role of contradiction training and cognitive style. *Developmental Psychology, 21*, 692-701.
- Piaget, J. (1987a). *Possibility and necessity: Vol. 1. The role of possibility in cognitive development* (H. Feider, Trans.). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Piaget, J. (1987b). *Possibility and necessity: Vol. 2. The role of necessity in cognitive development* (H. Feider, Trans.). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Rennie, D. A., Bull, R., & Diamond, A. (2004). Executive functioning in preschoolers: Reducing the inhibitory demands of the dimensional change card sort task. *Developmental neuropsychology, 26*, 423-443. doi: 10.1207/s15326942dn2601_4
- Ricco, R. (2010). The development of deductive reasoning across the life span. In W. F. Overton & R. M. Lerner (Eds.), *The handbook of life-span development: Cognition, biology and methods* (Vol. 1, pp. 391–430). Hoboken, NJ: Wiley.
- Richards, C. A., & Sanderson, J. A. (1999). The role of imagination in facilitating deductive reasoning in 2-, 3- and 4-year-olds. *Cognition, 72*, B1-B9. doi: 10.1016/S0010-0277(99)00037-2
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The role of working memory capacity in retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General, 126*, 211-227. doi: 10.1037/0096-3445.126.3.211
- Runco, M. A. (1985). Reliability and convergent validity of ideational flexibility as a function of academic achievement. *Perceptual and Motor Skills, 61*, 1075-1081. doi: 10.2466/pms.1985.61.3f.1075
- Runco, M. A. (2010). Divergent thinking, creativity, and ideation. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *Cambridge handbook of creativity* (pp. 413–446). New York, NY: Cambridge University Press.
- Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal, 24*, 66-75. doi: 10.1080/10400419.2012.652929

- Scott, G., Leritz, L. E., & Mumford, M. D. (2004). The effectiveness of creativity training: A quantitative review. *Creativity Research Journal, 16*, 361-388. doi: 10.1080/10400410409534549
- Silvia, P. J. (2008). Creativity and intelligence revisited: A latent variable analysis of Wallach and Kogan (1965). *Creativity Research Journal, 20*, 34-39. doi: 10.1080/10400410701841807
- Simoneau, M., & Markovits, H. (2003). Reasoning with premises that are not empirically true: evidence for the role of inhibition and retrieval. *Developmental Psychology, 39*, 964-975. doi: 10.1037/0012-1649.39.6.964
- Smith, S. M., Ward, T. B., & Schumacher, J. S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory & cognition, 21*, 837-845. doi: 10.3758/BF03202751
- Staudenmayer, H., & Bourne, L. E. (1977). Learning to interpret conditional sentences: A developmental study. *Developmental Psychology, 13*, 616-623. doi: 10.1037/0012-1649.13.6.616
- Thompson, V. A. (1995). Conditional reasoning: The necessary and sufficient conditions. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 49*, 1-60. doi: 10.1037/1196-1961.49.1.1
- Torrance, E. P. (1974). *The Torrance tests of creative thinking—Norms—Technical manual* (Research ed.). Princeton: Personnel Press.
- Verschueren, N., Schaeken, W., De Neys, W., & d'Ydewalle, G. (2004). The difference between generating counterexamples and using them during reasoning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 57*, 1285-1308. doi: 10.1080/02724980343000774
- Wallach, M. A., & Kogan, N. (1965). *Modes of thinking in young children: A study of the creativity-intelligence distinction*. New York, NY: Holt, Rinehart, & Winston.
- Ward, T. B., & Kolomyts, Y. (2010). Cognition and creativity. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp.93-112). New York, NY: Cambridge University Press.

Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature protocols*, *1*, 297-301.

CHAPITRE IX

DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

Ce chapitre permettra de résumer les principaux résultats issus des articles de la thèse et de les situer dans le cadre de la question de recherche, à savoir le rôle de la pensée divergente dans l'émergence du raisonnement déductif. Notez encore une fois qu'une compétence déductive élémentaire, dans le contexte de la thèse, se reflète lorsque l'inférence MP est réalisée et l'inférence AC est rejetée pour une même prémisse.

9.1 Discussion des articles

9.1.1 Retour sur le premier article

Le premier article (de Chantal et Markovits, 2016) visait à examiner l'état du raisonnement déductif à l'âge préscolaire et à comparer la contribution relative de la pensée divergente et de l'inhibition à son émergence. Une analyse des processus de raisonnement articulés par les TLM (Braine et O'Brien, 1991) a permis d'identifier qu'une difficulté à gérer les interférences et à inhiber certaines informations inadéquates pourrait être un facteur cognitif limitatif au raisonnement des jeunes enfants. En contrepartie, la TRS (Markovits et Barrouillet, 2002) identifie plutôt qu'une difficulté au regard de l'utilisation de la pensée divergente pendant le raisonnement pourrait être le facteur le plus important pour l'expression d'une

compétence déductive à l'âge préscolaire. Autrement dit, l'origine des habiletés de raisonnement serait liée soit au développement de l'inhibition d'information ou soit au développement de la production d'information.

Dans la première étude de l'article, une approche corrélacionnelle a été utilisée afin d'investiguer les patrons de covariation entre l'inhibition, la pensée divergente et le raisonnement déductif. Les enfants de 3 à 5 ans ont ainsi reçu le DCCS afin de mesurer les capacités d'inhibition (voir Rennie, Bull, et Diamond, 2004; Zelazo, 2006) ainsi qu'une tâche de pensée divergente et de raisonnement élaborées spécialement pour cette étude et dont le contenu a été adapté pour les enfants d'âge préscolaire. Les résultats ont montré que l'expression d'une compétence déductive est plus fortement associée aux différences individuelles au plan de la pensée divergente qu'aux différences individuelles au plan de l'inhibition. Plus important encore, la flexibilité des idées générées, à savoir le nombre de catégories sémantiques couvertes par ces idées, est plus important pour le raisonnement que la fluidité, ce qui précise le rôle de la pensée divergente au plan conceptuel.

Dans la seconde étude de l'article, une approche expérimentale a été employée afin d'examiner s'il est possible de moduler l'expression d'une compétence déductive. Les enfants de 4-5 ans ont ainsi reçu aléatoirement les exercices de pensée divergente ou la tâche d'inhibition avant les problèmes de raisonnement. Les résultats ont montré qu'encourager la pensée divergente préalablement au raisonnement permet d'améliorer les performances, alors que celles-ci sont presque nulles suite à l'administration d'une tâche d'inhibition. Cet effet d'amorçage fournit un appui supplémentaire au rôle de la pensée divergente dans l'émergence du raisonnement déductif, tout en circonscrivant son contexte d'apparition.

9.1.2 Retour sur le deuxième article

Le deuxième article (de Chantal, Gagnon-St-Pierre, et Markovits, 2020) visait à décortiquer l'effet d'amorçage identifié dans le premier article et à examiner la contribution spécifique de l'originalité dans l'émergence du raisonnement déductif. Pour ce faire, un devis expérimental a été élaboré afin de permettre un examen raffiné de la question de recherche.

Les enfants de 4-5 ans ont ainsi reçu aléatoirement des exercices de pensée divergente avec exemples, sans exemple ou des exercices de génération n'ayant pas été élaborés de manière à solliciter la pensée divergente –ou exercices contrôles. La manipulation des exemples découle d'une littérature ayant documenté un effet de fixation sur l'originalité des idées produites dans les tâches suscitant une pensée créative, aussi appelé le chemin de la moindre résistance (Ward et Kolomyts, 2010). Cet enjeu de fixation est également implicite à la TRS et est interprété comme étant un obstacle important à l'émergence du raisonnement déductif. La suggestion d'exemples visait donc à contraindre l'activation de la pensée divergente et à réduire l'originalité des idées produites par les enfants.

Les résultats ont montré que les enfants d'âge préscolaire identifient plus facilement l'incertitude de l'inférence AC suite aux exercices sans exemple que suite aux exercices avec exemples ou aux exercices contrôles. De plus, la suggestion d'exemples a eu l'effet prédit sur l'originalité des idées produites dans les exercices de pensée divergente, tout en ayant un impact limité sur la fluidité et la flexibilité du processus de production, ce qui appuie encore une fois le rôle de la pensée divergente dans l'émergence du raisonnement et précise la contribution spécifique de l'originalité.

9.2 Contexte d'émergence du raisonnement déductif

Les deux articles adressent l'émergence du raisonnement déductif à l'âge préscolaire, une période du développement n'ayant pas été l'objet d'études empiriques soutenues, malgré son importance pour la compréhension de la nature des processus de raisonnement. Les études antérieures ont principalement examiné l'habileté des très jeunes enfants à réaliser l'inférence MP –ou une forme similaire– et à saisir certaines notions fondamentales de la nécessité logique lorsque les prémisses s'inscrivent à contre-courant des connaissances (p.ex., Hawkins, Pea, Glick et Scribner, 1984). Ces études ont montré une étonnante précocité dans l'habileté à réaliser des déductions logiques et ont en partie ébranlé certaines prédictions de la théorie piagétienne (Piaget, 1987a, 1987b). Or, il a été souligné que l'habileté à réaliser des déductions logiques n'est pas suffisante pour diagnostiquer une compétence déductive élémentaire, mais que celle-ci doit également inclure une analyse de l'habileté à apprécier les contextes d'incertitude lorsqu'une conclusion ne découle pas nécessairement des prémisses. L'inférence AC est probablement la forme d'inférence la plus appropriée pour examiner le raisonnement dans un tel contexte, mais aucune étude empirique n'a examiné explicitement comment les enfants d'âge préscolaire raisonnent à partir de cette inférence. En ce sens, la thèse contribue donc à nourrir la littérature sur l'origine du raisonnement déductif.

Les études présentées dans cette thèse permettent de mieux circonscrire le contexte d'apparition du raisonnement déductif. Il est ainsi utile de comparer les performances obtenues dans les études de la thèse à celles obtenues dans d'autres études développementales utilisant un contenu similaire. Par exemple, Markovits (2000) a noté que les enfants de 6 ans rejettent l'inférence AC à un taux de 32%, alors que ceux de 7 ans rejettent cette inférence à un taux de 57%. Markovits et Thompson (2008) rapportent un taux similaire chez les enfants de 6 ans (38%), mais supérieur

chez les enfants de 7 ans (92%). Dans la première étude corrélacionnelle réalisée par de Chantal et Markovits (2017), les taux de réponses montrent clairement que les enfants de 4-5 ans distinguent la forme de l'inférence puisqu'ils ont réalisé l'inférence MP à un taux de 97%, alors que le taux de rejet de l'inférence AC était de 30%, ce qui semble comparable à ce qui est observé habituellement chez les enfants de 6 ans. Toutefois, il est important de noter que l'ordre d'administration des tâches demeure un facteur confondant. En effet, tous les enfants de cette étude corrélacionnelle ont reçu la tâche de pensée divergente et d'inhibition avant les problèmes de raisonnement, ce qui suggère que leurs performances ne reflètent peut-être pas la compétence réelle. Les études expérimentales réalisées dans le premier et deuxième article permettent d'illustrer plus fidèlement le contexte d'apparition d'une compétence déductive. À titre indicatif, le tableau 9.1 présente un sommaire des taux de réponses logiques (c.-à-d., réaliser l'inférence MP et rejeter l'inférence AC) aux études expérimentales de la thèse selon la condition d'exposition.

Table 9.1

Synthèse des taux de réponses logiques (%) selon la condition expérimentale

DCCS	Contrôle	Pensée divergente	
		Avec exemples	Sans exemples
7.6 ^a	15.5 ^b	30.0 ^a / 27.3 ^b	49.2 ^b

Note. ^a Étude 2, de Chantal et Markovits (2017); ^b de Chantal, Gagnon-St-Pierre, et Markovits (2020)

Tel que communiqué par le Tableau 9.1, les enfants de 4-5 ans rapportent de faibles performances lorsqu'ils sont exposés à une tâche d'inhibition ($\approx 8\%$) ou à une tâche contrôle ($\approx 16\%$) avant les problèmes de raisonnement, ce qui indique une compétence déductive limitée et est attendu à cette période du développement. Or, les performances augmentent significativement lorsque ces enfants sont exposés à des

exercices de pensée divergente avec (≈ 27 à 30%) ou sans exemple ($\approx 49\%$), ces derniers favorisant une performance supérieure à celle habituellement rapportée par les enfants de 6 ans (≈ 32 à 38%), mais inférieure à celle des enfants de 7 ans (≈ 57 à 92% ; Markovits 2000; Markovits et Thompson, 2008). Cela suggère donc que les enfants de 4-5 ans ont le potentiel cognitif pour être compétents lorsqu'ils traitent un contenu catégoriel familier, mais que ce potentiel doit être actualisé par une amorce de la pensée divergente. Par conséquent, la période préscolaire constitue un moment charnière lors duquel les enfants se montrent sensibles à des interventions favorisant le développement d'habiletés essentielles au bon fonctionnement du raisonnement déductif.

9.3 Contribution de la pensée divergente

Les études de la thèse ont montré empiriquement qu'une amorce liée à la pensée divergente peut avoir des effets bénéfiques sur l'émergence du raisonnement déductif. Markovits (2014a) a proposé un modèle hiérarchique du développement pouvant permettre d'interpréter la nature de cet effet et d'en dégager les principales composantes. Le Chapitre IV a introduit certains paramètres importants de ce modèle, mais il est utile de le situer en rapport avec les résultats obtenus dans les études de la thèse. Selon ce modèle, le développement du raisonnement progresse selon des étapes liées au degré d'abstraction du processus de génération d'alternatives à l'antécédent et à l'efficacité des processus cognitifs requis pour produire ces alternatives. Cette progression se reflète notamment par le type de relation pouvant être traitée pendant le processus de raisonnement à une tranche d'âge donnée (voir Tableau 2.2). Par exemple, l'habileté à traiter des prémisses catégorielles serait maîtrisée vers l'âge de 7-8 ans et les études de la thèse suggèrent de manière consistante que cette habileté n'est pas observée à 4-5 ans sans qu'elle ne soit facilitée par la pensée divergente.

9.3.1 Mécanisme d'amorçe de la pensée divergente

Le modèle précise comment une amorçe liée à la pensée divergente doit s'arrimer au niveau d'abstraction du type de relation traitée pendant le raisonnement pour entraîner des bénéfices. Les enfants se montreraient sensibles aux interventions qui sollicitent des habiletés aux frontières de leur zone de confort, alors que celles qui encouragent l'utilisation de stratégies déjà bien établies ou trop éloignées sur le plan développemental auraient peu d'impact sur le raisonnement. Ce mécanisme est appuyé par quelques études ayant examiné l'effet d'exercices de génération d'alternatives à l'antécédent sur le raisonnement, dont la structure est similaire aux exercices de pensée divergente utilisés dans la thèse. Par exemple, Markovits et Brunet (2012) ont montré qu'amorçer la génération d'alternatives causales factuelles (p.ex., « imagine que le trottoir est glissant, dis-moi plusieurs manières que cela aurait pu arriver ») améliore le raisonnement à partir de prémisses catégorielles chez les enfants de 6-7 ans, alors qu'une intervention visant la génération d'alternatives causales contre-factuelles n'a aucun effet. Pour les adolescents, la génération d'alternatives causales factuelles n'entraîne quant à elle aucun bénéfice lorsque la tâche nécessite le traitement de relations abstraites, alors que la production d'alternatives causales contre-factuelles améliore les performances (Markovits et Lortie-Forgues, 2011). Les articles de la thèse permettent de mieux comprendre la nature de ce mécanisme d'activation à l'âge préscolaire.

Le mécanisme décrit par Markovits est par ailleurs très similaire à la notion de zone proximale de développement introduite par Vygotsky (tiré de Chaiklin, 2003),

laquelle adresse la distance entre ce que l'enfant peut réaliser de manière autonome et ce qu'il peut réaliser de manière assistée⁴. En effet, la disparité entre les performances observées lorsque les enfants de 4-5 ans raisonnent de manière autonome dans la condition contrôle ($\approx 16\%$) et celles atteintes lorsqu'ils raisonnent suite à l'amorce de la pensée divergente (≈ 27 à 49%) évoque la possibilité que ces enfants se situent dans une zone proximale de développement pour les prémisses catégorielles. Il est également important de noter que les exercices de pensée divergente utilisés dans les études de la thèse sollicitaient essentiellement un traitement de catégories sémantiques (p.ex., « on peut faire du bruit avec beaucoup de choses, dis-moi d'autres manières de faire du bruit »), lesquels reflètent spécifiquement l'enjeu développemental lié au type de relation devant être maîtrisée par les enfants d'âge préscolaire. La nature de ces exercices serait donc adaptée au niveau de maturation des enfants. En contrepartie, l'administration d'exercices de pensée divergente sollicitant la causalité aurait probablement eu un impact très limité sur le raisonnement puisque ce niveau d'abstraction se développe à un âge plus avancé.

9.3.2 Rôle des différences individuelles et de l'originalité

Une deuxième composante du modèle de Markovits (2014a) concerne la relation entre les différences individuelles au plan de la pensée divergente et les habiletés de raisonnement. L'habilité à parcourir de manière flexible les catégories sémantiques associées au contexte de raisonnement serait un déterminant important de la capacité

⁴ L'assistance définie par Vygotsky peut impliquer des interactions avec des adultes ou des pairs plus compétents, ou des questions guidées adaptées au niveau de maturation de l'enfant.

à apprécier l'incertitude de l'inférence AC (p.ex., Markovits et Quinn, 2002). Les résultats obtenus dans l'étude corrélationnelle du premier article sont consistants avec cette hypothèse. Ces derniers montrent que la flexibilité de la pensée divergente est associée aux performances de raisonnement et ce, au-delà de la contribution de la fluidité. À noter que les études antérieures ayant employé des exercices de génération d'alternatives n'ont examiné que la fluidité des idées générées et ne permettent donc pas un examen qualitatif de la flexibilité à parcourir un espace sémantique (Markovits, 2014b, 2017; Markovits et Brunet, 2012; Janveau-Brennan et Markovits, 1999). La corrélation observée entre le nombre de catégories couvertes dans les exercices de pensée divergente et les performances de raisonnement constitue donc un appui convaincant au modèle de la récupération sémantique. Le rôle de l'originalité examiné dans le deuxième article renforce encore plus la valeur de l'habileté à produire des idées éloignées au plan sémantique pour le raisonnement déductif et son émergence.

La manipulation de l'originalité dans le deuxième article suggère que la simple récupération en mémoire n'est pas la dimension la plus importante à la production d'alternatives à l'antécédent, du moins chez les enfants de 4-5 ans. Selon la TRS, un obstacle potentiel au développement d'une stratégie rudimentaire de production d'alternatives à l'âge préscolaire consisterait à créer de nouvelles possibilités qui ne sont pas directement liées à l'antécédent évoqué par la prémisse majeure du problème de raisonnement, tout en maintenant l'information nécessaire en mémoire de travail. Ce phénomène est similaire à ce que certains chercheurs intéressés à la créativité appellent le chemin de la moindre résistance (Ward et Kolomyts, 2010). Il est ainsi possible qu'un effet similaire ait lieu pendant que les enfants d'âge préscolaire raisonnent, mais que s'engager dans un processus original préalablement au raisonnement permette de diminuer l'ampleur de cet effet. Le deuxième article montre que la simple suggestion d'exemples dans les exercices de pensée divergente contraint l'originalité des idées produites, alors que ceux accompagnés d'aucun exemple mène à une originalité supérieure. Les résultats ont montré un bénéfice partiel des exercices

de pensée divergente avec exemples ($\approx 30\%$), comparativement à la condition contrôle ($\approx 16\%$) et à la condition sans exemple ($\approx 49\%$). Le fait que les bénéfices de la pensée divergente soient supérieurs lorsqu'aucun exemple n'est suggéré indique donc que l'originalité soit un déterminant important au développement des premières stratégies de raisonnement.

Le patron de différences individuelles dans la condition avec exemples fournit un appui supplémentaire au rôle crucial de l'habileté à surmonter le chemin de la moindre résistance pour produire des alternatives à l'antécédent (voir Tableau 8.3). En effet, le patron de corrélations montre que les trois dimensions de la pensée divergente –soit la fluidité, la flexibilité et l'originalité– sont liées aux performances de raisonnement lorsque des exemples sont suggérés dans les exercices. Cela suggère donc que les enfants ayant été en mesure surmonter l'effet de fixation provoqué par la suggestion d'exemples sont ceux ayant le mieux raisonné par la suite. Par ailleurs, l'absence de relation entre les différences individuelles au plan de l'inhibition et les exercices de pensée divergente avec exemples dans l'étude corrélationnelle du premier article suggère une validité discriminante entre l'habileté à surmonter l'effet de fixation et l'inhibition. Le développement de l'inhibition n'est donc pas liée à l'émergence d'une compétence déductive à l'âge préscolaire et ne permet pas d'expliquer l'effet d'amorce liée à la pensée divergente.

9.4 Contribution de l'inhibition

Le rôle de l'inhibition semble avoir été écarté par les résultats obtenus dans les articles de la thèse. L'analyse des TLM (Braine et O'Brien, 1991) dans le Chapitre III avait mis en lumière le rôle potentiel de l'inhibition, qui serait utilisée pour gérer l'interférence causée par les facteurs pragmatiques ou le schème lié à l'inférence MP.

La tâche d'inhibition utilisée dans le premier article, soit le DCCS (Zelazo, 2006), reflète précisément l'habileté à coordonner des règles et à inhiber celle qui est la plus saillante, mais à la fois inappropriée. Cette tâche est donc tout spécialement appropriée afin d'investiguer le rôle de l'inhibition à cet âge puisqu'elle correspond plutôt bien à l'enjeu soulevé par l'analyse des prédictions développementales des TLM. Encore une fois, les résultats montrent que l'inhibition ne contribue pas significativement à l'émergence d'une compétence déductive.

Bien que l'inhibition ne soit pas préalable au développement de l'habileté à apprécier l'incertitude de l'inférence AC dans les premières années de la vie, plusieurs contextes de raisonnement nécessitent tout de même la gestion des interférences et l'inhibition des connaissances. Par exemple, une capacité d'inhibition est requise lorsque le contexte empirique de la tâche remet en doute la véracité des prémisses ou de la conclusion, notamment par l'emploi de prémisses qui contredisent la réalité (Handley, Capon, Beveridge, Dennis, et Evans, 2004; Markovits et Doyon, 2004; Simoneau et Markovits, 2003;) ou par l'usage de conditions contraignantes (De Neys, Schaeken, et d'Ydewalle, 2005; De Neys et Everaerts, 2008). Les études présentées dans cette thèse ne visaient pas à manipuler explicitement les composantes de la tâche susceptibles de solliciter un tel usage de l'inhibition. L'analyse des justifications communiquées par les enfants dans les études de la thèse indique par ailleurs que la production de conditions contraignantes est très limitée avec le type de contenu utilisé. En effet, aucune condition contraignante n'a été produite dans les études du premier article, alors que ces possibilités ont été communiquées par 3% des enfants dans le deuxième article. Afin d'étayer plus fortement la contribution relative de l'inhibition et de la pensée divergente, il aurait été intéressant de manipuler la tâche de raisonnement de sorte à présenter des problèmes évoquant peu ou beaucoup de conditions contraignantes et d'alternatives à l'antécédent. Les études de la thèse propose une présaillance de la pensée divergente sur l'inhibition pour l'émergence de l'habileté élémentaire à réaliser l'inférence MP et à rejeter l'inférence AC lorsque la

tâche exige le traitement de relation catégorielles familières, mais n'élimine pas la possibilité que l'inhibition soit sollicitée dans des contextes de raisonnement plus complexes.

9.5 Conclusion

Les études présentées dans cette thèse permettent de mieux comprendre l'origine du raisonnement déductif dans les premières années de la vie et d'étayer le rôle de la pensée divergente dans son émergence. La conception du raisonnement déductif au regard de la logique implique un processus fermé qui repose uniquement sur le traitement des prémisses et ce, indépendamment des connaissances. L'idée que la pensée divergente soit impliquée dans ce processus est donc contre-intuitive. Or, la littérature sur les processus de raisonnement et leur développement a plutôt montré que la psychologie des enfants et des adultes sollicite l'utilisation de la mémoire et des connaissances. L'importance de la pensée divergente pour le raisonnement est l'illustration la plus claire que le raisonnement est le résultat d'une activité mentale ouverte et flexible. Les études présentées dans la thèse sont les premières à documenter une relation claire entre la pensée divergente et les capacités de raisonnement des enfants.

La pensée divergente est une composante cognitive centrale à plusieurs théories de la créativité et est donc majoritairement étudiée sous cette perspective. Toutefois, celle-ci a déjà été associée à d'autres composantes de la cognition humaine, telles que l'improvisation (Lewis et Lovatt, 2013), l'apprentissage (Dirkes, 1978), la perception (Hommel, 2012) et la recherche d'hypothèses (Vartanian, Martindale, et Kwiatkowski, 2003). La pensée divergente peut donc être étudiée en tant qu'habileté générale, et non spécifique à la créativité. Cette forme de pensée peut être adaptée afin de

rencontrer les exigences spécifiques de l'activité dans laquelle elle est utilisée (Baer, 2012) et le rôle qui lui est ici assigné dans le raisonnement contribue à ramifier l'approche transdisciplinaire à l'étude de la pensée divergente et de la créativité.

RÉFÉRENCES

- Agogué, M., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., et Cassotti, M. (2014). The impact of age and training on creativity: a design-theory approach to study fixation effects. *Thinking Skills and Creativity*, *11*, 33-41. doi : 10.1016/j.tsc.2013.10.002
- Almeida, L. S., Prieto, L. P., Ferrando, M., Oliveira, E., et Ferrándiz, C. (2008). Torrance Test of Creative Thinking: The question of its construct validity. *Thinking Skills and Creativity*, *3*(1), 53-58. doi : 10.1016/j.tsc.2008.03.003
- Baer, J. (2012). Domain specificity and the limits of creativity theory. *The Journal of Creative Behavior*, *46*(1), 16-29. doi : 10.1002/jocb.002
- Barrouillet, P. (2011). Dual-process theories of reasoning: The test of development. *Developmental Review*, *31*(2), 151-179. doi : 10.1016/j.dr.2011.07.006
- Barrouillet, P., Gauffroy, C., et Lecas, J. F. (2008). Mental models and the suppositional account of conditionals. *Psychological Review*, *115*(3), 760-771. doi : 10.1037/0033-295X.115.3.760
- Barrouillet, P., et Lecas, J. F. (1998). How can mental models theory account for content effects in conditional reasoning? A developmental perspective. *Cognition*, *67*(3), 209-253. doi : 10.1016/S0010-0277(98)00037-7
- Barrouillet, P., et Lecas, J. F. (1999). Mental models in conditional reasoning and working memory. *Thinking & Reasoning*, *5*(4), 289-302. doi : 10.1080/135467899393940
- Barrouillet, P., Markovits, H., et Quinn, S. (2002). Developmental and content effects in reasoning with causal conditionals. *Journal of Experimental Child Psychology*, *81*(3), 235-248. doi : 10.1006/jecp.2001.2652
- Barsalou, L. W. (1983). Ad hoc categories. *Memory & cognition*, *11*(3), 211-227. doi : 10.3758/BF03196968

- Barsalou, L. W. (1985). Ideals, central tendency, and frequency of instantiation as determinants of graded structure in categories. *Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition*, 11(4), 629-654. doi : 10.1037/0278-7393.11.1-4.629
- Beaty, R. E., Kenett, Y., Hass, R., et Schacter, D. L. (2019; preprint). A Fan Effect for Creative Thought: Semantic Richness Facilitates Idea Quantity but Constrains Idea Quality.
- Beaty, R. E., et Silvia, P. J. (2012). Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(4), 309-319. doi : 10.1037/a0029171
- Beaty, R. E., Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Jauk, E., et Benedek, M. (2014). The roles of associative and executive processes in creative cognition. *Memory & cognition*, 42(7), 1186-1197. doi : 10.3758/s13421-014-0428-8
- Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., et Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, 46, 73-83. doi : 10.1016/j.intell.2014.05.007
- Bijvoet-van den Berg, S., et Hoicka, E. (2014). Individual differences and age-related changes in divergent thinking in toddlers and preschoolers. *Developmental psychology*, 50(6), 1629-1639. doi : 10.1037/a0036131
- Braine, M. D. S. (1990). The “natural logic” approach to reasoning. Dans W. F. Overton (Ed.). *Reasoning, necessity, and logic: Developmental perspectives* (pp. 135 – 158). Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates.
- Braine, M. D. S., et O'Brien, D. P. (1991). A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. *Psychological review*, 98(2), 182-203. doi : 10.1037/0033-295X.98.2.182
- Buchanan, D. W., et Sobel, D. M. (2011). Mechanism - based causal reasoning in young children. *Child development*, 82(6), 2053-2066. doi : 10.1111/j.1467-8624.2011.01646.x

- Byrne, R. M. J. (1989). Suppressing valid inferences with conditionals. *Cognition*, 31(1), 61-83. doi : 10.1016/0010-0277(89)90018-8
- Byrne, R. M. J. (2005). *The rational imagination: How people create counterfactual alternatives to reality*. Cambridge University Press.
- Byrne, R. M. J., et Johnson-Laird, P. N. (2009). 'If' and the problems of conditional reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(7), 282-287. doi : 10.1016/j.tics.2009.04.003
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 28(2), 595-616. doi : 10.1207/s15326942dn2802_3
- Carlson, S. M., et Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032-1053. doi : 10.1111/1467-8624.00333
- Cassotti, M., Camarda, A., Poirel, N., Houdé, O., et Agogué, M. (2016). Fixation effect in creative ideas generation: Opposite impacts of example in children and adults. *Thinking Skills and Creativity*, 19, 146-152. doi : 10.1016/j.tsc.2015.10.008
- Chaiklin, S. (2003). The zone of proximal development in Vygotsky's analysis of learning and instruction. *Vygotsky's educational theory in cultural context*, 1(2), 39-64.
- Clapham, M. M. (2004). The convergent validity of the Torrance Tests of Creative Thinking and creativity interest inventories. *Educational and Psychological Measurement*, 64(5), 828-841. doi : 10.1177/0013164404263883
- Copi, I. M., et Cohen, C. (1990). *Introduction to logic*. New-York : Macmillan
- Cropley, A. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity research journal*, 18, 391-404. doi : 10.1207/s15326934crj1803_13
- Cummins, D. D. (1995). Naive theories and causal deduction. *Memory & Cognition*, 23(5), 646-658. doi : 10.3758/BF03197265

- Cummins, D. D., Lubart, T., Alksnis, O., et Rist, R. (1991). Conditional reasoning and causation. *Memory & Cognition*, 19(3), 274-282. doi : 10.3758/BF03211151
- Daniel, D. B., et Klaczynski, P. A. (2006). Developmental and individual differences in conditional reasoning: Effects of logic instructions and alternative antecedents. *Child Development*, 77(2), 339-354. doi : 10.1111/j.1467-8624.2006.00874.x
- de Chantal, P. L., Gagnon - St - Pierre, É., et Markovits, H. (2020). Divergent Thinking Promotes Deductive Reasoning in Preschoolers. *Child development*, 91(4), 1081-1097. doi : 10.1111/cdev.13278
- de Chantal, P. L., et Markovits, H. (2017). The capacity to generate alternative ideas is more important than inhibition for logical reasoning in preschool-age children. *Memory & cognition*, 45(2), 208-220. doi : 10.3758/s13421-016-0653-4
- De Neys, W., et Everaerts, D. (2008). Developmental trends in everyday conditional reasoning: The retrieval and inhibition interplay. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(4), 252-263. doi : 10.1016/j.jecp.2008.03.003
- De Neys, W., Schaeken, W., et d'Ydewalle, G. (2002). Causal conditional reasoning and semantic memory retrieval: A test of the semantic memory framework. *Memory & Cognition*, 30(6), 908-920. doi : 10.3758/BF03195776
- De Neys, W. D., Schaeken, W., et d'Ydewalle, G. (2003a). Causal conditional reasoning and strength of association: The disabling condition case. *European Journal of Cognitive Psychology*, 15(2), 161-176. doi : 10.1080/09541440244000058
- De Neys, W., Schaeken, W., et d'Ydewalle, G. (2003b). Inference suppression and semantic memory retrieval: Every counterexample counts. *Memory & Cognition*, 31(4), 581-595. doi : 10.3758/BF03196099
- De Neys, W., Schaeken, W., et d'Ydewalle, G. (2005). Working memory and everyday conditional reasoning: Retrieval and inhibition of stored counterexamples. *Thinking & Reasoning*, 11(4), 349-381. doi : 10.1080/13546780442000222

- Diamond, A., et Kirkham, N. (2005). Not quite as grown-up as we like to think parallels between cognition in childhood and adulthood. *Psychological Science*, 16(4), 291-297. doi : 10.1111/j.0956-7976.2005.01530.x
- Diamond, A., Kirkham, N., et Amso, D. (2002). Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response. *Developmental psychology*, 38(3), 352-362. doi : 10.1037/0012-1649.38.3.352
- Dias, M. G., et Harris, P. L. (1988). The effect of make - believe play on deductive reasoning. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(3), 207-221. doi : 10.1111/j.2044-835X.1988.tb01095.x
- Dias, M. G., et Harris, P. L. (1990). The influence of the imagination on reasoning by young children. *British Journal of Developmental Psychology*, 8(4), 305-318. doi : 10.1111/j.2044-835X.1990.tb00847.x
- Dias, M. G., Roazzi, A., O'Brien, D. P., et Harris, P. L. (2005). Logical reasoning and fantasy contexts: Eliminating differences between children with and without experience in school. *Revista interamericana de psicología= Interamerican journal of psychology*, 39(1), 13-22.
- Dirkes, M. (1978). The role of divergent production in the learning process. *American Psychologist*, 33(9), 815-820. doi : 10.1037/0003-066X.33.9.815.
- Evans, J. St. B. (1993). The mental model theory of conditional reasoning: Critical appraisal and revision. *Cognition*, 48(1), 1-20. doi : 10.1016/0010-0277(93)90056-2
- Evans, J. S. B., Barston, J. L., et Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & cognition*, 11(3), 295-306.
- Evans, J. St. B. T., et Over, D. E. (2004). *If*. Oxford, Angleterre: Oxford University Press.
- Evans, J. St. B., Newstead, S. E., et Byrne, R. M. J. (1993). *Human reasoning: The psychology of deduction*. New-York: Psychology Press.

- Evans, J. St. B., Thompson, V. A., et Over, D. E. (2015). Uncertain deduction and conditional reasoning. *Frontiers in psychology*, 6. doi : 10.3389/fpsyg.2015.00398
- Eysenck, H. J. (1995). *Genius: The natural history of creativity* (Vol. 12). Cambridge University Press.
- Gauffroy, C., et Barrouillet, P. (2009). Heuristic and analytic processes in mental models for conditionals: An integrative developmental theory. *Developmental Review*, 29(4), 249-282. doi : 10.1016/j.dr.2009.09.002
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., et Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 312–7 years old on a stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129-153. doi : 10.1016/0010-0277(94)90068-X
- Gilhooly, K. J., Fioratou, E., Anthony, S. H., et Wynn, V. (2007). Divergent thinking: Strategies and executive involvement in generating novel uses for familiar objects. *British Journal of Psychology*, 98(4), 611-625. doi : 10.1111/j.2044-8295.2007.tb00467.x
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological bulletin*, 53(4), 267-293. doi : 10.1037/h0040755
- Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *The Journal of Creative Behavior*, 1(1), 3-14. doi : 10.1002/j.2162-6057.1967.tb00002.x
- Guilford, J. P., et Christensen, P. R. (1973). The one-way relation between creative potential and IQ. *The Journal of Creative Behavior*, 7(4), 247-252. doi : 10.1002/j.2162-6057.1973.tb01096.x
- Grosset, N., Barrouillet, P., et Markovits, H. (2005). Chronometric evidence for memory retrieval in causal conditional reasoning: The case of the association strength effect. *Memory & cognition*, 33(4), 734-741. doi : 10.3758/BF03195339
- Handley, S. J., Capon, A., Beveridge, M., Dennis, I., et Evans, J. S. B. (2004). Working memory, inhibitory control and the development of children's reasoning. *Thinking & Reasoning*, 10(2), 175-195. doi : 10.1080/13546780442000051

- Hawkins, J., Pea, R. D., Glick, J., et Scribner, S. (1984). "Merds that laugh don't like mushrooms": Evidence for deductive reasoning by preschoolers. *Developmental Psychology*, 20(4), 584-594. doi : 10.1037/0012-1649.20.4.584
- Hocevar, D., et Michael, W. B. (1979). The effects of scoring formulas on the discriminant validity of tests of divergent thinking. *Educational and Psychological Measurement*, 39, 917-921. doi : 10.1177/001316447903900427
- Hommel, B. (2012). Convergent and divergent operations in cognitive search. *Cognitive search: Evolution, algorithms, and the brain*, 221-235.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: Object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive development*, 15, 63-73. doi : 10.1016/S0885-2014(00)00015-0
- Inhelder, B., et Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New-York: Basic.
- Janveau-Brennan, G., et Markovits, H. (1999). The development of reasoning with causal conditionals. *Developmental Psychology*, 35(4), 904-911. doi : 10.1037/0012-1649.35.4.904
- Johnson-Laird, P. N. (2006). *How we reason*. Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18243-18250. doi : 10.1073/pnas.1012933107
- Johnson-Laird, P. et Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale. N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson-Laird, P. et Byrne, R. M. J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, 109(4), 646-678. doi : 10.1037/0033-295X.109.4.646
- Karmiloff-Smith, A. (1995). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science*. MIT press.

- Kaufman, J. C., Plucker, J. A., et Baer, J. (2008). *Essentials of creativity assessment*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Klauer, K. C., Beller, S., et Hütter, M. (2010). Conditional reasoning in context: a dual-source model of probabilistic inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 298-323. doi : 10.1037/a0018705
- Klauer, K. J., et Phye, G. D. (2008). Inductive reasoning: A training approach. *Review of educational research*, 78(1), 85-123. doi : 10.3102/0034654307313402
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science education*, 77, 319-337. doi : 10.1002/sce.3730770306
- Kuhn, J. T., et Holling, H. (2009). Measurement invariance of divergent thinking across gender, age, and school forms. *European Journal of psychological assessment*, 25(1), 1-7. doi : 10.1027/1015-5759.25.1.1
- Leighton, J. P. (2004). Defining and describing reason. Dans J. P. Leighton et R. J. Sternberg (Eds.), *The nature of reasoning* (p. 3-11). NY : Cambridge University Press.
- Lewis, C., et Lovatt, P. J. (2013). Breaking away from set patterns of thinking: Improvisation and divergent thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 9, 46-58. doi : 10.1016/j.tsc.2013.03.001
- Livesey, D. J., et Morgan, G. A. (1991). The development of response inhibition in 4 - and 5 - year - old children. *Australian Journal of Psychology*, 43(3), 133-137. doi : 10.1080/00049539108260137
- Lloyd, B., et Howe, N. (2003). Solitary play and convergent and divergent thinking skills in preschool children. *Early Childhood Research Quarterly*, 18(1), 22-41. doi : 10.1016/S0885-2006(03)00004-8
- Markovits, H. (1988). Conditional reasoning, representation, and empirical evidence on a concrete task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40(3), 483-495. doi : 10.1080/02724988843000032

- Markovits, H. (1995). Conditional reasoning with false premises: Fantasy and information retrieval. *British Journal of Developmental Psychology*, 13(1), 1-11. doi : 10.1111/j.2044-835X.1995.tb00660.
- Markovits, H. (2000). A mental model analysis of young children's conditional reasoning with meaningful premises. *Thinking & Reasoning*, 6(4), 335-347. doi : 10.1080/135467800750038166
- Markovits, H. (2004). The Development of Deductive Reasoning. Dans J. P. Leighton et R. J. Sternberg (Eds.), *The nature of reasoning* (p. 311-338). NY : Cambridge University Press.
- Markovits, H. (2014a). How to develop a logical reasoner: A hierarchical model of the role of divergent thinking in the development of conditional reasoning. Dans H. Markovits (Ed.), *The Developmental Psychology of Reasoning and Decision-Making* (pp.148 – 164). Psychology Press.
- Markovits, H. (2014b). On the road toward formal reasoning: Reasoning with factual causal and contrary-to-fact causal premises during early adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 128, 37-51. doi : 10.1016/j.jecp.2014.07.001
- Markovits, H. (2017). In the beginning stages: Conditional reasoning with category based and causal premises in 8-to 10-year olds. *Cognitive Development*, 41, 1-9. doi : 10.1016/j.cogdev.2016.10.002
- Markovits, H., et Barrouillet, P. (2002). The development of conditional reasoning: A mental model account. *Developmental Review*, 22(1), 5-36. doi : 10.1006/drev.2000.0533
- Markovits, H., Brisson, J., et de Chantal, P.-L. (2016). How do pre-adolescent children interpret conditionals?. *Psychonomic bulletin & review*, 23(6), 1907-1912. doi : 10.3758/s13423-016-1050-5
- Markovits, H., et Brunet, M. L. (2012). Priming divergent thinking promotes logical reasoning in 6-to 8-year olds: But more for high than low SES students. *Journal of Cognitive Psychology*, 24(8), 991-1001. doi : 10.1080/20445911.2012.729034
- Markovits, H., et Doyon, C. (2004). Information processing and reasoning with premises that are empirically false: Interference, working memory, and

- processing speed. *Memory & Cognition*, 32, 592-601. doi : 10.3758/BF03195850
- Markovits, H., Fleury, M. L., Quinn, S., et Venet, M. (1998). The development of conditional reasoning and the structure of semantic memory. *Child development*, 69(3), 742-755. doi : 10.1111/j.1467-8624.1998.tb06240.x
- Markovits, H., et Lortie - Forgues, H. (2011). Conditional reasoning with false premises facilitates the transition between familiar and abstract reasoning. *Child Development*, 82(2), 646-660. doi : 10.1111/j.1467-8624.2010.01526.x
- Markovits, H., et Quinn, S. (2002). Efficiency of retrieval correlates with “logical” reasoning from causal conditional premises. *Memory & Cognition*, 30(5), 696-706. doi : 10.3758/BF03196426
- Markovits, H., Schleifer, M., et Fortier, L. (1989). Development of elementary deductive reasoning in young children. *Developmental Psychology*, 25(5), 787-793. doi : 10.1037/0012-1649.25.5.787
- Markovits, H., et Thompson, V. (2008). Different developmental patterns of simple deductive and probabilistic inferential reasoning. *Memory & cognition*, 36(6), 1066-1078. doi : 10.3758/MC.36.6.1066
- Markovits, H., Thompson, V. A., et Brisson, J. (2015). Metacognition and abstract reasoning. *Memory & cognition*, 43(4), 681-693. doi : 10.3758/s13421-014-0488-9
- Markovits, H., et Vachon, R. (1990). Conditional reasoning, representation, and level of abstraction. *Developmental Psychology*, 26(6), 942-951. doi : 10.1037/0012-1649.26.6.942
- Markovits, H., Venet, M., Janveau - Brennan, G., Malfait, N., Pion, N., et Vadeboncoeur, I. (1996). Reasoning in young children: Fantasy and information retrieval. *Child Development*, 67(6), 2857-2872. doi : 10.1111/j.1467-8624.1996.tb01892.x
- Marsh, R. L., Landau, J. D., et Hicks, J. L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory & cognition*, 24(5), 669-680. doi : 10.3758/BF03201091

- Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological review*, 69(3), 220-232. doi : 10.1037/h0048850
- Mercier, H., et Sperber, D. (2011). Why do humans reason? Arguments for an argumentative theory. Dans *Behavioral and Brain Sciences* (pp.57-74). Cambridge University Press. doi : 10.1017/S0140525X10000968
- Morris, A. K., et Sloutsky, V. M. (1998). Understanding of logical necessity: Developmental antecedents and cognitive consequences. *Child Development*, 69(3), 721-741. doi : 10.1111/j.1467-8624.1998.tb06239.x
- Morsanyi, K., McCormack, T., et O'Mahony, E. (2017). The link between deductive reasoning and mathematics. *Thinking & Reasoning*, 24, 1-24. doi : 10.1080/13546783.2017.1384760
- Moshman, D. (2004). : From inference to reasoning: The construction of rationality. *Thinking & Reasoning*, 10(2), 221-239. doi : 10.1080/13546780442000024
- Moutier, S., Plagne - Cayeux, S., Melot, A. M., et Houdé, O. (2006). Syllogistic reasoning and belief - bias inhibition in school children: evidence from a negative priming paradigm. *Developmental Science*, 9, 166-172. doi : 10.1111/j.1467-7687.2006.00476.x
- Nusbaum, E. C., et Silvia, P. J. (2011). Are intelligence and creativity really so different?: Fluid intelligence, executive processes, and strategy use in divergent thinking. *Intelligence*, 39(1), 36-45. doi : 10.1016/j.intell.2010.11.002
- Oberauer, K. (2006). Reasoning with conditionals: A test of formal models of four theories. *Cognitive Psychology*, 53(3), 238-283. doi : 10.1016/j.cogpsych.2006.04.001
- O'Brien, D. P. (2009). Human reasoning includes a mental logic. *Behavioral and brain sciences*, 32(01), 96-97. doi : 10.1017/S0140525X09000429
- O'Brien, D. P., et Manfrinati, A. (2010). The mental logic theory of conditional proposition. *Cognition and conditionals: probability and logic in human thinking*, 39-54.

- O'Brien, D., et Overton, W. F. (1980). Conditional reasoning following contradictory evidence: A developmental analysis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 30(1), 44-61. doi: 10.1016/0022-0965(80)90074-0
- O'Brien, D. P., et Overton, W. F. (1982). Conditional reasoning and the competence-performance issue: A developmental analysis of a training task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 34(2), 274-290. doi : 10.1016/0022-0965(82)90046-7
- Piaget, J. (1987a). *Possibility and necessity (Vol. 1)*. Minneapolis : University of Minnesota Press.
- Piaget, J. (1987b). *Possibility and necessity (Vol. 2)*. Minneapolis : University of Minnesota Press.
- Plucker, J. A., et Renzulli, J. S. (1999). Psychometric approaches to the study of human creativity. *Handbook of creativity*, 35-61.
- Rennie, D. A., Bull, R., et Diamond, A. (2004). Executive functioning in preschoolers: Reducing the inhibitory demands of the dimensional change card sort task. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 423-443. doi : 10.1207/s15326942dn2601_4
- Ricco, R. (2010). The development of deductive reasoning across the life span. Dans W. F. Overton & R. M. Lerner (Eds.), *The handbook of life-span development: Cognition, biology and methods* (Vol. 1, pp. 391–430). Hoboken, NJ: Wiley.
- Richards, C. A., et Sanderson, J. A. (1999). The role of imagination in facilitating deductive reasoning in 2-, 3-and 4-year-olds. *Cognition*, 72(2), B1-B9. doi : 10.1016/S0010-0277(99)00037-2
- Rips, L. J. (1983). Cognitive processes in propositional reasoning. *Psychological review*, 90(1), 38-71. doi : 10.1037/0033-295X.90.1.38
- Rips, L. J. (1994). *The psychology of proof*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rips, L. J. (2001). Two kinds of reasoning. *Psychological Science*, 12(2), 129-134. doi : 10.1111/1467-9280.00322

- Roberge, J. J. (1970). A study of children's abilities to reason with basic principles of deductive reasoning. *American Educational Research Journal*, 7(4), 583-596.
- Rumain, B., Connell, J., et Braine, M. D. (1983). Conversational comprehension processes are responsible for reasoning fallacies in children as well as adults: if is not the biconditional. *Developmental Psychology*, 19(4), 471-481. doi : 10.1037/0012-1649.19.4.471
- Runco, M. A. (2010). Divergent thinking, creativity, and ideation. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *Cambridge handbook of creativity* (pp. 413–446). New York, NY: Cambridge University Press.
- Runco, M. A. (1985). Reliability and convergent validity of ideational flexibility as a function of academic achievement. *Perceptual and Motor Skills*, 61(3f), 1075-1081.
- Runco, M. A., et Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal*, 24(1), 66-75. doi : 10.1080/10400419.2012.652929
- Scholnick, E. K., et Wing, C. S. (1988). Knowing when you don't know: Developmental and situational considerations. *Developmental Psychology*, 24(2), 190-196. doi : 10.1037/0012-1649.24.2.190
- Silvia, P. J. (2011). Subjective scoring of divergent thinking: Examining the reliability of unusual uses, instances, and consequences tasks. *Thinking Skills and Creativity*, 6(1), 24-30. doi : 10.1016/j.tsc.2010.06.001
- Silvia, P. J., Winterstein, B. P., Willse, J. T., Barona, C. M., Cram, J. T., Hess, K. I., ... et Richard, C. A. (2008). Assessing creativity with divergent thinking tasks: Exploring the reliability and validity of new subjective scoring methods. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 2(2), 68-85. doi : 10.1037/1931-3896.2.2.68
- Simoneau, M., et Markovits, H. (2003). Reasoning with premises that are not empirically true: evidence for the role of inhibition and retrieval. *Developmental Psychology*, 39(6), 964-979. doi : 10.1037/0012-1649.39.6.964

- Smith, S. M., Ward, T. B., et Schumacher, J. S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory & Cognition*, 21(6), 837-845. doi : 10.3758/BF03202751
- Snyder, A., Mitchell, J., Bossomaier, T., et Pallier, G. (2004). The creativity quotient: an objective scoring of ideational fluency. *Creativity Research Journal*, 16(4), 415-419. doi : 10.1080/10400410409534552
- Sternberg, R. J., et Lubart, T. I. (1996). Investing in creativity. *American psychologist*, 51(7), 677-688. doi : 10.1037/0003-066X.51.7.677
- Thompson, V. A. (1994). Interpretational factors in conditional reasoning. *Memory & cognition*, 22(6), 742-758. doi : 10.3758/BF03209259
- Thompson, V. A. (1995). Conditional reasoning: The necessary and sufficient conditions. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 49(1), 1-60. doi : 10.1037/1196-1961.49.1.1
- Thompson, V. A. (2000). The task-specific nature of domain-general reasoning. *Cognition*, 76(3), 209-268. doi : 10.1016/S0010-0277(00)00082-2
- Torrance, E. P. (1974). *The Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-technical manual*. Princeton, NJ: Personal Press.
- Torrance, E. P. (2008). *The Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-technical manual*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service
- Vadeboncoeur, I., et Markovits, H. (1999). The effect of instructions and information retrieval on accepting the premises in a conditional reasoning task. *Thinking & Reasoning*, 5(2), 97-113. doi : 10.1080/135467899394011
- Vartanian, O., Martindale, C., et Kwiatkowski, J. (2003). Creativity and inductive reasoning: The relationship between divergent thinking and performance on Wason's 2-4-6 task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 56(4), 641-655. doi : 10.1080/02724980244000567
- Venet, M., et Markovits, H. (2001). Understanding uncertainty with abstract conditional premises. *Merrill-Palmer Quarterly* (1982-), 74-99.

- Verschueren, N., Schaeken, W., De Neys, W., et d'Ydewalle, G. (2004). The difference between generating counterexamples and using them during reasoning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 57(7), 1285-1308. doi : 10.1080/02724980343000774
- Verschueren, N., Schaeken, W., et d'Ydewalle, G. (2005). A dual-process specification of causal conditional reasoning. *Thinking & Reasoning*, 11(3), 239-278. doi : 10.1080/13546780442000178
- Wallach, M. A., et Kogan, N. (1965). *Modes of thinking in young children*. Rinehart and Winston: New York
- Ward, T. B. (1994). Structured imagination: The role of category structure in exemplar generation. *Cognitive psychology*, 27(1), 1-40. doi : 10.1006/cogp.1994.1010
- Ward, T. B., et Kolomyts, Y. (2010). Cognition and creativity. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp.93-112). New York, NY: Cambridge University Press.
- Wason, P. C., et Johnson-Laird, P. N. (Eds) (1972). *Psychology of reasoning: Structure and content*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Wason, P. C., et Shapiro, D. (1971). Natural and contrived experience in a reasoning problem. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23(1), 63-71. doi : 10.1080/0033557143000068
- Wildman, T. M., et Fletcher, H. J. (1977). Developmental increases and decreases in solutions of conditional syllogism problems. *Developmental Psychology*, 13(6), 630. doi : 10.1037/0012-1649.13.6.630
- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1(1), 297-301. doi : 10.1038/nprot.2006.46
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., ... et Carlson, S. M. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the society for research in child development*, i-151

