



Université Paul Sabatier
Faculté de médecine Toulouse Rangueil
CFUO de Toulouse

MEMOIRE

Présenté par : **Diane de TADDEO**

Soutenu le : **20 juin 2019**

Pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste
de l'Université de Toulouse

Analyse du lien entre fonctions exécutives et raisonnement

Année universitaire : **2018-2019**

Mémoire dirigé par :

Chiöé FARRER-PUJOL, chercheuse du CNRS au Centre de
Recherche Cerveau et Cognition (CeRCO)

Magali THIRION, orthophoniste et formatrice « Dyscalculie » et
« Analyse des pratiques » de la formation professionnelle Dystingo

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Diane de Taddeo', located at the bottom center of the page.

Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord remercier Magali Thirion, sans qui ce sujet de mémoire n'aurait jamais vu le jour puisqu'elle est la seule orthophoniste que j'ai contactée à avoir accepté d'encadrer un mémoire relevant du domaine logico-mathématiques. Un grand merci pour ton soutien, tes éclairages et conseils, tes relectures et ta rapidité de réponse malgré ton année chargée, qui m'ont été d'une grande aide tout au long de l'année.

Ensuite Chloé Farrer-Pujol, mon encadrante principale, sans laquelle je n'aurais pas pu non plus effectuer ce mémoire de recherche. Merci pour ta bienveillance et tes éclairages sans lesquels mon sujet aurait manqué de cohérence et qui m'ont permis d'acquérir une certaine rigueur scientifique.

Un grand merci aussi à Virginie Woisard pour son aide méthodologique qui m'a été indispensable ainsi que son soutien durant toute l'année.

Je souhaiterais également remercier toute la promotion 2014-2019 pour cette magnifique entraide et cette solidarité qui n'ont jamais failli au cours de ces années passées ensemble. Je mesure la chance que j'ai eue d'avoir une promotion riche comme la vôtre !

Plus particulièrement, je souhaiterais remercier mes amies Sarah, Marjorie et Priscillia (mon binôme revue de la littérature !) qui ont adouci ce cursus (et ce mémoire). Ce fut un plaisir de venir en cours, rien que pour vous voir ! Et d'un point de vue plus professionnel, nos échanges m'ont énormément apporté.

Merci également à mes différentes maîtres de stage : Elisa, Mathilde, Karine et Emily qui sont toujours parvenues à enchanter ma vision de l'orthophonie, à me pousser à me questionner et qui m'ont fait confiance en me laissant prendre en charge leurs patients. Je suis ravie d'avoir pu rencontrer d'aussi chouettes futures collègues !

Pour ce qui est du soutien, j'ai reçu le meilleur possible avec mon mari Hugo qui m'a épaulée tout au long de ces cinq années et plus particulièrement durant cette dernière année avec ma grossesse, pendant laquelle il a assuré comme un chef ! J'en profite pour remercier bébé à venir (qui sera sûrement déjà là quand je passerai ma soutenance) pour m'avoir donné l'apaisement qui me manquait ainsi que la volonté jusqu'au bout.

Enfin, je souhaiterais dédier ce mémoire tout d'abord à mon papa qui, j'en suis certaine, aurait été très fier de voir (enfin !) s'achever mes études. Je le dédie également à mon amie Aurélie, qui aurait fait une super orthophoniste. Vous êtes malheureusement partis trop tôt mais vous m'avez transmis une étincelle que je porterai pour toujours.

Résumé

Les concepts de raisonnement et de fonctions exécutives sont aujourd'hui plus que jamais étudiés, mais rarement en parallèle l'un de l'autre. Certains construits théoriques décrivent une organisation selon laquelle il existerait des fonctions exécutives supérieures (dont le raisonnement) qui reposeraient sur des fonctions exécutives de bas niveau que sont la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité (Diamond, 2013).

Nous nous sommes donc posé la question de l'implication de ces fonctions exécutives de base dans le raisonnement, sur un aspect clinique. Pour y répondre, nous avons effectué une revue de la littérature à l'aide de la méthodologie PRISMA ainsi que d'un tableau PICOS, à partir de différentes bases de données (SUDOC, BDSP, EM Premium et PubMed).

Au terme de la sélection de documents, nous en avons conservé dix. La synthèse de ceux-ci confirme bien une corrélation entre les différentes fonctions exécutives de bas niveau et le raisonnement et avance même l'idée d'un lien de causalité entre les deux, à savoir que ce serait le raisonnement qui dépendrait des fonctions exécutives.

Ainsi, d'un point de vue clinique, ce lien est des plus intéressants pour appréhender la rééducation orthophonique du trouble du raisonnement.

Abstract

The concepts of reasoning and executive functions are more studied today than ever, but rarely in parallel with each other. Some theoretical constructs describe an organization in which there are superior executive functions (including reasoning) that rely on low-level executive functions such as working memory, inhibition, and flexibility (Diamond, 2013).

We therefore asked ourselves the question of the implication of these basic executive functions in the reasoning, on a clinical aspect. To answer this question, we carried out a literature review using the PRISMA methodology as well as a PICOS table, from different databases (SUDOC, BDSP, EM Premium and PubMed).

At the end of the selection of documents, we kept ten. The synthesis of these confirms a correlation between the various low-level executive functions and reasoning and even advances the idea of a causal link between both, namely that it would be the reasoning that would depend on the executive functions.

Thus, from a clinical point of view, this link is really interesting to understand the speech therapy rehabilitation of the reasoning disorder.

Liste des acronymes et abréviations

GREFEX : Groupe de Réflexion d'Évaluation des Fonctions Exécutives

HBP : Human Brain Project

Fig. : figure

CISMeF : Catalogue et Index des Sites Médicaux de langue Française

MeSH : Medical Subject Headings

SUDOC : catalogue du Système Universitaire de Documentation

BDSP : Banque de Données en Santé Publique

MMSE : Mini Mental State Examination

Table des matières

I – Introduction	1
II – Etat des connaissances	3
A) Le raisonnement.....	3
1. Les inférences.....	3
2. La théorie constructiviste de Piaget.....	5
3. Le trouble du raisonnement	7
B) Les fonctions exécutives.....	8
1. Modélisation cognitive des fonctions exécutives.....	8
2. Le développement des fonctions exécutives.....	14
3. Le trouble des fonctions exécutives.....	16
C) Raisonnement et fonctions exécutives.....	17
III - Méthode.....	19
A) Identification : recherche de la littérature.....	19
1/ Question de recherche.....	19
2/ Equation de recherche.....	20
3/ Bases de données utilisées	21
B) Sélection des articles	21
1/ Duplicata.....	21
2/ Critères d'inclusion et d'exclusion sur base des titres et résumés	22
3/ Mise en commun et décision	22
C) Evaluation des risques de biais	26
D) Extraction des données	27
E) Analyse des données.....	27
IV – Résultats	29
A) Document 1	29
B) Document 2	30
C) Document 3.....	31
D) Document 4.....	32

E) Document 5	33
F) Document 6	34
G) Document 7	36
H) Document 8	37
I) Document 9	38
J) Document 10	39
V – Discussion	41
A) Synthèse des résultats	41
B) Liens avec les hypothèses	43
C) Qualité et validité	45
D) Concordance / discordance avec d'autres travaux	45
VI – Conclusion	47
Références bibliographiques	48
Annexes	53

I – Introduction

L'intérêt pour le raisonnement apparaît durant l'Antiquité avec le « *logos* » d'Aristote (signifiant à la fois « raison » et « langage ») qui permet de passer du mythe (qui était jusque-là une vérité indiscutable) à la pensée rationnelle ; les raisons prévalent alors sur l'ordre ou les révélations. Archimède jeta les bases de la science et de la technologie moderne en combinant observation et raisonnement afin d'énoncer ses règles mathématiques. Mais le raisonnement conquiert également d'autres sphères : la théologie avec saint Anselme de Canterbury qui cherchait « les raisons de la foi », ou encore la philosophie avec Montaigne qui prônait « Plutôt la tête bien faite que bien pleine. » puis Descartes et son fameux « Je pense donc je suis. » qui ajouta au « *logos* » l'idée de « règles pour la direction de l'esprit » (à savoir le raisonnement logico-mathématique), ce à quoi Pascal adjoint le raisonnement intuitif (rapide et sans conscience). Ainsi, au XVIIIème siècle, le raisonnement devient une valeur s'apparentant au courage (avec Kant : « Aie le courage de te servir de ton propre entendement. ») pour ensuite servir la méthode expérimentale (hypothético-déductive) de Claude Bernard au XIXème siècle. Le XXème siècle marque quant à lui le début de l'étude du raisonnement en lui-même en tant que fonction biologique du cerveau, notamment avec les travaux de Jean Piaget.

Ce système logique de raisonnement a donc fait son chemin depuis la période de la Grèce antique et s'est imposé comme une valeur cognitive au carrefour des neurosciences, de la médecine, de la psychologie et de l'informatique. Le raisonnement est ainsi toujours d'actualité puisque des recherches sont encore faites sur le sujet (Daniel Kahneman, seul psychologue contemporain lauréat du prix Nobel, est d'ailleurs un spécialiste du raisonnement et de la prise de décision) et que l'ambition internationale contemporaine est de créer un cerveau artificiel capable de raisonner (projets SyNAPSE aux Etats-Unis et HBP en Europe) (Houdé, 2014b).

Les fonctions exécutives sont en revanche un concept plus récent dont l'intérêt a débuté avec Phinéas Gage, contremaître des chemins de fer ayant survécu à la barre à mine qui lui détruisit une grande partie du lobe frontal en 1848. Il resta par la suite capable de se déplacer et de parler, mais son médecin J.M. Harlow releva d'importantes modifications comportementales (notamment une incapacité à s'adapter aux changements de l'environnement ainsi qu'une modification de la personnalité) durant les onze années de son suivi clinique. Après le décès de son patient, Harlow déterra son corps en 1868 et conserva son crâne pour en faire une étude anatomique en fonction des lésions. La description de ce cas permet alors l'identification du rôle essentiel du lobe frontal dans le contrôle du comportement.

Cette affaire sera remise au goût du jour par Antonio Damasio qui fit le lien avec d'autres patients cérébrolésés frontalement, notamment de la région ventro-médiale bilatérale, correspondant à une trace émotionnelle des souvenirs (Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda, & Damasio, 1994).

Par la suite, d'autres observations de cas de modifications comportementales dues à une atteinte des lobes frontaux furent effectuées, notamment avec les nombreux blessés de la première guerre mondiale. Est alors faite l'hypothèse que des lésions frontales entraînent des modifications comportementales, sans altérations intellectuelles majeures.

Le début des évaluations psychométriques (Stroop Color Word Test de Stroop, 1935 ; Trail Making Test de Reitan, 1958 ; Wisconsin Card Sorting Test de Milner, 1963 ; Tour de Londres de Shallice, 1982) aboutit à des modèles anatomiques puis à des modèles cognitifs des fonctions exécutives. Cela signe l'apparition du terme de « fonctions exécutives » qui sont alors définies par Luria comme des fonctions psychologiques supérieures complexes influencées par l'environnement culturel et social (Luria, Teuber, & Pribram, 1966). Ces « fonctions de direction » sont décrites par un système de hiérarchisation des fonctions mentales et les lobes frontaux comme une structure de haute intégration supervisant les autres régions du cortex.

Si elles ont donc au départ été étudiées en neuropsychologie dans un contexte de lésions, elles sont aujourd'hui largement examinées en lien avec le développement normal de l'enfant et de l'adulte, à propos de la supervision des différentes fonctions cognitives ainsi que leur mise en jeu volontaire dans le but d'une adaptation à l'environnement. Il y a d'ailleurs consensus sur l'importance du rôle régulateur de ces fonctions sur les autres fonctions cognitives dans le développement de l'enfant. On s'intéresse désormais notamment au lien entre les fonctions exécutives et d'autres processus d'ordre cognitif comme l'intelligence et le langage (Schneider, Lockl, & Fernandez, 2014), lien des plus intéressants pour la pratique orthophonique.

II – Etat des connaissances

A) Le raisonnement

Le raisonnement est défini par le Dictionnaire d'Orthophonie comme « une suite de propositions articulées entre elles en vue de démontrer quelque chose » (Brin, 2014).

Olivier Houdé énonce plus simplement que « savoir raisonner, c'est savoir réfléchir » ; c'est donc faire appel à sa raison pour maîtriser les réponses trop impulsives que nous dictent nos croyances, nos émotions et notre intuition. Le cerveau est ainsi capable d'abstraction, d'élaboration d'hypothèses et de vérification de la logique de nos propositions et de celles d'autrui (Houdé, 2014b).

D'après Jean Piaget, le raisonnement renvoie à la cognition, qui regroupe également d'autres domaines (construction de l'objet, nombre, catégorisation...) ; il fait ainsi partie de l'intelligence qui « constitue l'état d'équilibre vers lequel tendent toutes les adaptations successives d'ordre sensorimoteur et cognitif, ainsi que les échanges assimilateurs et accommodateurs entre l'organisme et le milieu » (Brin, 2014). En effet, les auteurs s'accordent aujourd'hui sur l'idée d'une intelligence multiple recouvrant l'intelligence logico-mathématique décrite par Piaget (axée sur l'enseignement de la logique et des processus mathématiques, l'utilisation de nombres et le séquençage) mais également l'intelligence verbale linguistique, l'intelligence kinesthésique, l'intelligence visuelle et spatiale, l'intelligence musicale, l'intelligence interpersonnelle et l'intelligence intrapersonnelle (Gardner, 1993).

1. Les inférences

a) La déduction

Il s'agit du principal processus caractérisant depuis toujours l'esprit humain. Elle permet de jouer avec les idées (vraies ou fausses), de les enchaîner et de vérifier leur logique.

Sa forme classique est le syllogisme « si... alors... ». L'inférence déductive est l'opération cognitive qui réalise l'enchaînement entre les prémisses (« si ») et la conclusion (« alors »). Le caractère valide d'une déduction du point de vue logique dépend de la structure de l'inférence et non de la sémantique des phrases (leur contenu) ; la logique est donc indépendante des contenus.

L'autre grande forme de déduction est le raisonnement hypothético-déductif (ou conditionnel), c'est-à-dire les règles du syllogisme : l'antécédent « si » correspond à

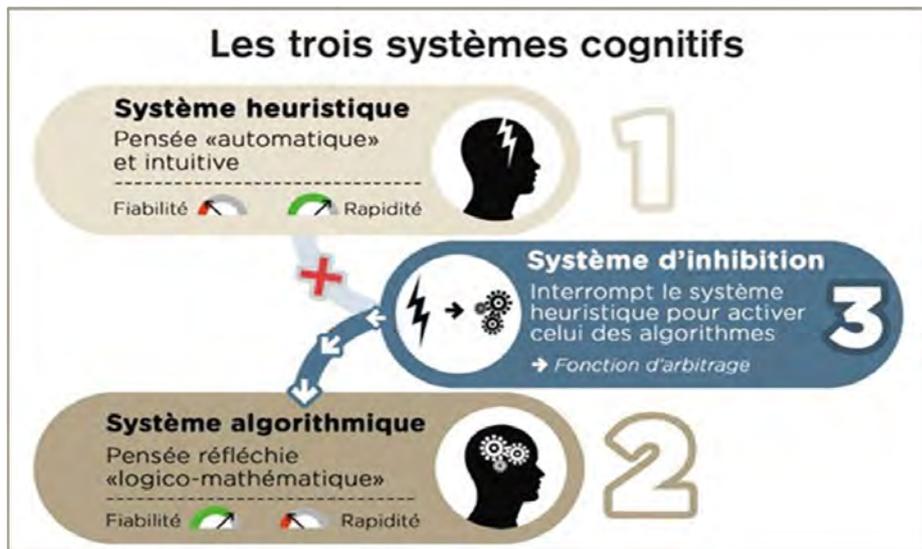
l'hypothèse et le conséquent « alors » à la déduction. Selon Piaget, le raisonnement hypothético-déductif se met en place vers 11-12 ans par des règles concrètes puis abstraites : les traitements quantitatifs (nombres) et qualitatifs (catégorisation) traitent à partir de là plus des idées que des objets concrets. Pour lui, c'est la logique qui est le miroir de la pensée et non l'inverse (Piaget, 2001).

Ces deux formes de raisonnement sont liées car un syllogisme peut être transformé en proposition conditionnelle.

b) L'induction

Il s'agit d'un autre processus important du raisonnement qui lui, se fonde sur des cas particuliers (et non sur des règles générales comme la déduction), sur l'évaluation du probable par le système intuitif. Kahneman et Tversky, qui s'inscrivent eux aussi dans ce courant logique, proposent en 1974 un modèle composé de ces deux systèmes : heuristique (intuitif) et algorithmique (logique) (Kahneman, 2012).

Ce modèle a par la suite été complété avec le système d'inhibition (exécutif) (Houdé, 2014a).



(Fig.1 Schéma des trois systèmes cognitifs selon Houdé, 2014)

Dans ce type de raisonnement, on retrouve le raisonnement par analogie défini par Gentner et al. (1983 ; 2001) comme le transfert d'une structure relationnelle extraite d'une situation connue, appelée source, vers une situation nouvelle, appelée cible. Ainsi, en permettant le transfert de connaissances dans un contexte nouveau, le raisonnement analogique s'avère indispensable pour de nombreux apprentissages, la résolution de problèmes et l'interprétation de situations.

Trois positions théoriques principales peuvent être distinguées concernant le développement du raisonnement par analogie : tout d'abord celle de Piaget qui situait l'émergence du raisonnement analogique au stade des opérations formelles (11-12 ans) et l'attribuait au développement général des compétences logiques ; puis celles de Goswami et al. (1989 ; 1990) et de Gentner (1988) qui considèrent que les jeunes enfants sont capables d'un tel raisonnement bien avant le niveau opératoire formel, dès lors que les relations impliquées leur sont familières. Ces deux dernières thèses s'opposent en revanche sur leur vision du développement du raisonnement analogique : selon la théorie de la « primauté relationnelle » de Goswami, l'insuffisance des connaissances relationnelles serait le seul frein à la mise en œuvre d'un raisonnement analogique chez le jeune enfant tandis que pour Gentner, le développement donne lieu à une « bascule relationnelle » avant laquelle les jeunes enfants seraient seulement capables de raisonner sur des similitudes locales entre attributs d'objets, ce pourquoi ils ne parviendraient pas à l'alignement structural permettant la mise en correspondance des structures relationnelles source et cible. Cette bascule relationnelle ne se produirait pas nécessairement aux mêmes âges selon les domaines de relations impliqués, puisqu'elle résulterait du développement des connaissances dans ces domaines, développement dépendant des expériences de l'enfant.

2. La théorie constructiviste de Piaget

a) Le développement de la logique

Bien qu'elle fasse actuellement l'objet de critiques (notamment sur le développement non linéaire de certains enfants et sur son rôle dans l'acquisition du nombre), la théorie piagétienne (idée de stades psychologiques qui sont à l'origine du système logique) reste aujourd'hui le point de référence historique central du raisonnement car elle décrit bien les compétences cognitives et les performances de l'enfant. Sa particularité dans l'étude du développement cognitif relève de son triple ancrage : biologique, épistémologique et logico-mathématique (Houdé, Meljac, & Baillargeon, 2000).

D'après Jean Piaget (Inhelder & Piaget, 1955), la logique n'est pas innée. L'intelligence se développe car on a besoin de la développer pour résoudre des situations de la vie courante ou des problématiques nous intéressant. Selon le fonctionnement de pensée, on ne résout pas un problème de la même manière. Les connaissances dues à notre propre réflexion se construisent par étapes, qu'il catégorise selon différents stades : sensori-moteur, préopératoire, opératoire concret et formel. Ainsi, au fil du temps, nous empilons nos connaissances et les différentes façons d'appréhender et résoudre les problèmes.

Cette évolution se fait par :

- **Assimilation** : Conduite active d'adaptation par laquelle l'organisme modifie le milieu au lieu de s'en accommoder [...] il y a assimilation lorsque des éléments du milieu sont incorporés à la structure de la pensée, non pour être « détruits » mais pour être coordonnés aux éléments préexistants de cette structure, qui va donc s'en trouver modifiée (Brin, 2014).
- **Accommodation** : Processus qui permet à un organisme de s'adapter aux modifications du milieu extérieur [...] il y a accommodation lorsque, le milieu se transformant, l'organisation de la pensée s'adapte à ce changement en se transformant elle-même (Brin, 2014).

Il existe des interactions continues entre l'assimilation et l'accommodation. C'est à travers ces interactions qu'apparaît la notion d'équilibration. Celui-ci est un processus dynamique qui rétablit un équilibre rompu (dû à une perturbation ou une modification de l'environnement). Ainsi, quand un objet résiste, l'enfant ne parvient pas à l'assimiler et cela crée un déséquilibre.

L'accommodation lui permet de s'adapter et donc d'établir un nouvel équilibre. L'enfant évolue ensuite vers d'autres équilibres à chaque fois supérieurs ce qui caractérise une adaptation performante.

b) Les stades de développement de l'intelligence

Piaget décrit trois stades du développement de l'intelligence de l'enfant :

Le stade de l'intelligence sensori-motrice (jusqu' à 2 ans) :

A ce stade, l'intelligence se construit à partir de la perception et du mouvement. Cette construction s'effectue grâce aux réflexes innés. L'adaptation de l'enfant à une situation nouvelle représente le comportement intelligent. L'adaptation se définit par l'accommodation et l'assimilation.

Le stade des opérations concrètes (2 à 11-12 ans), divisé en deux sous-stades :

- **L'intelligence préopératoire (2 à 6-7 ans) :** La fonction symbolique se met en place. L'enfant peut alors se représenter mentalement les éléments de son environnement qui ne sont pas actuellement accessibles et peut les évoquer à l'aide de symboles ayant pour supports le langage, le dessin, l'imitation, le jeu symbolique... Ainsi, progressivement, chaque objet est associé à une image mentale. Lors de cette longue période, la pensée de l'enfant est dite égoцентриque, c'est-à-dire que ce dernier n'arrive pas encore à accepter un point de vue différent

du sien. De plus, les éléments du monde sont uniquement basés sur son expérience personnelle (*par exemple, le mot et concept « chat » ne désigne pas une classe générale pour l'enfant mais un cas particulier qu'il perçoit dans sa réalité, comme le chat de la famille*). La logique de l'enfant est donc perceptive, il reste centré sur les aspects figuratifs de la réalité qui l'entoure.

- **L'intelligence opératoire concrète (7-8 ans à 11-12 ans)** : A présent, l'enfant arrive à maîtriser la réversibilité, c'est-à-dire à prendre en compte les transformations d'un objet et de revenir mentalement à la situation de départ. Il intègre donc la notion de conservation, mais uniquement sur un support concret. L'aspect opératif prend alors le dessus sur l'aspect figuratif.

Le raisonnement logique se met en place grâce à deux opérations logiques :

- **Les opérations infralogiques** : Elles sont centrées sur l'objet et permettent de considérer l'objet en tant que tel selon ses caractéristiques physiques et spatiales. L'enfant, en agissant sur les objets de son environnement, intègre alors les invariants physiques (conservation de la substance, du poids, du volume) ainsi que les invariants spatiaux (conservation des longueurs, des surfaces).
- **Les opérations logico-mathématiques** : Elles sont centrées sur les relations entre les objets. L'enfant, en comparant les objets les uns aux autres, relève alors les critères qui regroupent ou distinguent les objets entre eux. Se mettent alors en place les opérations de classification, sériation, inclusion et combinatoire.

Le stade de l'intelligence opératoire formelle (11-12 ans à 16 ans) :

L'intelligence est alors « hypothético-déductive » : l'enfant accède à l'abstraction et peut ainsi émettre des hypothèses opérationnelles.

3. Le trouble du raisonnement

Le DSM-V inclut le trouble du raisonnement (ici raisonnement logico-mathématique) dans les troubles spécifiques des apprentissages (critère 6), plus particulièrement dans ceux avec déficit du calcul. Il se manifeste par un raisonnement mathématique lent ou inexact en dehors d'un trouble associé et qui interfère avec la réussite scolaire, le fonctionnement professionnel ou les activités de la vie courante faisant appel à ces habiletés. Ces difficultés avec le raisonnement mathématique induisent par exemple de grandes difficultés à appliquer des concepts, des données ou des méthodes mathématiques pour résoudre des problèmes (American psychiatric association, 2015).

Dans la réalité clinique orthophonique, ce trouble correspond à un niveau de raisonnement en décalage par rapport à l'âge chronologique, des difficultés dans le raisonnement mathématique ainsi qu'un déficit de certaines structures logiques (classification, sériation, conservation, combinatoire), qui peuvent être prise en charge en dans le cadre d'une rééducation logico-mathématique.

B) Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont définies par le GREFEX comme des « fonctions de direction permettant, lors de la réalisation d'une tâche, la définition d'un but ou des objectifs à atteindre, d'une stratégie pour y parvenir, le contrôle de sa mise en œuvre et des résultats. Elles correspondent donc à des fonctions de haut niveau (des fonctions de contrôle), impliquées dans de nombreuses formes d'activités cognitives » (Godefroy, Jeannerod, Allain, & Le Gall, 2008). Cette définition basée sur celle de Miller et Cohen (2001) évoque bien leur transversalité, ce pourquoi elles recouvrent des concepts différents selon les auteurs.

Sur le plan cérébral, les régions préfrontales semblent le support des fonctions exécutives mais ces dernières reposent en fait sur un vaste réseau largement distribué dont la connectivité particulièrement riche relie les cortex préfrontaux, pariétaux et les noyaux gris centraux. Les fonctions exécutives remplissent ainsi un rôle associatif de l'ensemble des fonctions mentales : d'une part l'intégration entre elles des fonctions linguistiques, gnosiques, spatiales, praxiques, mnésiques et de cognition sociale et d'autre part l'intégration de ces dernières avec des fonctions émotionnelles telles que la motivation ou le plaisir (Mazeau & Pouhet, 2014). Elles sont donc particulièrement impliquées dans l'ensemble des processus d'apprentissage chez l'enfant mais ce sont les fonctions qui se développent le plus lentement, dont la maturation s'achève le plus tardivement (adolescence et début de l'âge adulte).

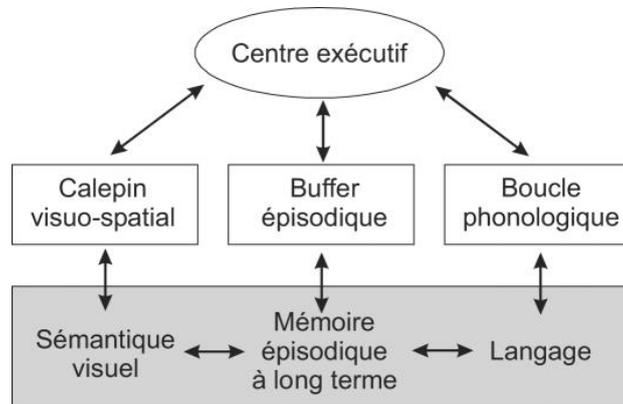
Ainsi, le contrôle exécutif permet le guidage des conduites vers les buts visés à partir du moment où l'on sort des activités routinières automatisées et donc de répondre de façon adaptée aux changements de situation. Ceci a été démontré par les différents auteurs présentés ci-dessous.

1. Modélisation cognitive des fonctions exécutives

Nous allons ici rappeler les différents modèles cognitifs, sur lesquels sont encore basées les recherches actuelles, pour chacune des fonctions exécutives, dans leur ordre chronologique.

a) Le modèle la mémoire de travail (Baddeley, 2000)

La mémoire de travail assure le maintien temporaire et la manipulation cognitive de l'information. Son efficacité dépend de sa taille, de la vitesse de traitement ainsi que des autres fonctions exécutives et de l'attention.



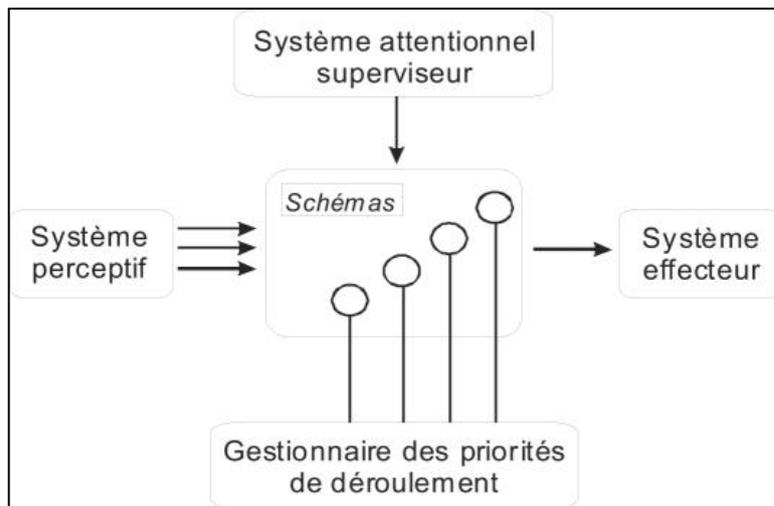
(Fig. 2 Modèle de la mémoire de travail de Baddeley, 1986)

Elle est faite de quatre systèmes :

- **L'administrateur central** : Il supervise et coordonne la régulation du flux d'infos.
- **La boucle phonologique** : Elle permet le stockage et le traitement de l'information verbale.
- **Le calepin visuo-spatial** : Il permet le stockage et le traitement de l'information visuelle et spatiale.
- **Le buffer épisodique** : Il permet le stockage temporaire d'informations provenant ou à destination de la mémoire à long terme.

b) Le modèle du Système de Supervision Attentionnelle (Norman & Shallice, 1986)

Ce modèle de contrôle exécutif a été fait dans le but de comprendre le rôle de l'attention dans l'action en comparant des actions routinières à des actions non routinières (qui nécessitent une planification ou l'inhibition d'un comportement dominant, donc un contrôle attentionnel). Ainsi, la sélection d'une action est une compétition lors d'une tâche non-routinière (Norman & Shallice, 1986).



(Fig. 3 Modèle du superviseur de Shallice & Norman, 1980)

Il est formé de trois composantes :

- **Les schémas** : Unités de connaissance contrôlant les séquences d'actions sur-apprises (ex : *conduire sur un trajet quotidien*). Il existe deux types de schémas : les schémas de bas niveau qui sont des routines comportementales et les schémas de haut niveau qui entraînent tous les schémas de bas niveau qui lui sont associés. L'activation d'un schéma se fait selon un ratio excitation / inhibition : le schéma reste activé jusqu'à l'atteinte du but de l'action ou s'il y a inhibition.
- **Le gestionnaire des conflits entre schémas** : Processus semi-automatique qui provoque une inhibition collatérale (ex : *regarder la route en même temps que suivre une conversation*)
- **Le système de supervision attentionnelle (SSA)** : Il module le niveau d'activation des schémas lorsque les procédures automatiques ne suffisent plus (en cas de situation nouvelle / dangereuse, de prise de décision) (ex : *on arrête de parler pour se concentrer sur la route lorsque c'est nécessaire*). Ce système intervient donc en cas de planification ou prise de décision, de correction d'erreurs, d'absence de schémas pré-établis, de situation difficile ou dangereuse, d'inhibition d'un schéma non-adapté.

c) Les marqueurs somatiques : émotions et cognition sociale (Damasio, 1994)

Les recherches précédentes ont eu pour vocation de décrire les étapes cognitives nécessaires à la production d'un comportement cognitif adapté mais aucun n'aborde les aspects comportementaux, ce qu'a soulevé Damasio. Il proposa donc une théorie mettant en lien les troubles du raisonnement et la prise de décision (qui est une forme d'inférence faisant partie du raisonnement) avec les processus émotionnels.

Pour démontrer le rôle du cortex préfrontal dans les marqueurs somatiques (informations neurovégétatives et émotionnelles acquises lors d'expériences antérieures et réactivées dans certaines situations afin de guider le comportement dans un sens favorable au sujet) établissant des liens entre situations et états émotionnels, les auteurs ont collecté des réponses électrodermales en réponse à des stimuli visuels, en condition passive. L'étude de cas EVR concernant des lésions préfrontales ventro-médianes a montré que ces lésions n'entraînaient pas de perturbation aux bilans neuropsychologiques (mémoire de travail et fonctions exécutives) mais que le patient enchaînait les erreurs au quotidien, dû à des difficultés d'adaptation sociale (choix de vie professionnels et personnels, ajustement difficile des comportements sociaux). Il a été noté une absence de réactions somatiques végétatives (réponses électrodermales) à des stimuli émotionnellement chargés, en cas de prise de risque (pari), malgré une préservation du jugement explicite (Eslinger & Damasio, 1986).

Par la suite a été créé l'Iowa Gambling Task (Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994) qui a été effectué sur des patients frontaux. Ce test est fréquemment utilisé comme mesure de la prise de décision en cas d'ambiguïté. Dans cette tâche, quatre jeux de cartes au choix sont présentés. Les participants savent seulement qu'il existe des paquets plus ou moins avantageux. Ils ne sont pas informés du fait que le choix des paquets A et B conduit à des gains monétaires fictifs élevés mais occasionnellement à des pertes très élevées, ce qui les désavantage à long terme. Les paquets C et D ne permettent que de faibles gains mais des pertes moins importantes, ce qui rend ces deux paquets avantageux à long terme. Étant donné que les gains et les pertes et leurs hauteurs sont relativement peu systématiques, les individus ne peuvent en déduire les probabilités de gains et de pertes. Les réactions électrodermales de ces patients se sont avérées normales lors de la perte au jeu mais ils n'éprouvaient pas de réaction anticipatoire après une perte : ils étaient appâtés par le gros gain même s'ils perdaient et ce alors qu'ils percevaient bien le risque et stressaient en cas de perte. Ce test permet de détecter les déficiences décisionnelles car l'anticipation des risques est une composante cognitive et émotionnelle importante de la prise de décision.

Notre raisonnement est donc en partie guidé par l'évaluation émotionnelle des conséquences de l'action. Les marqueurs somatiques, témoins de nos expériences passées, nous permettent de trier les options s'offrant à nous en anticipant automatiquement les conséquences affectives de chaque action.

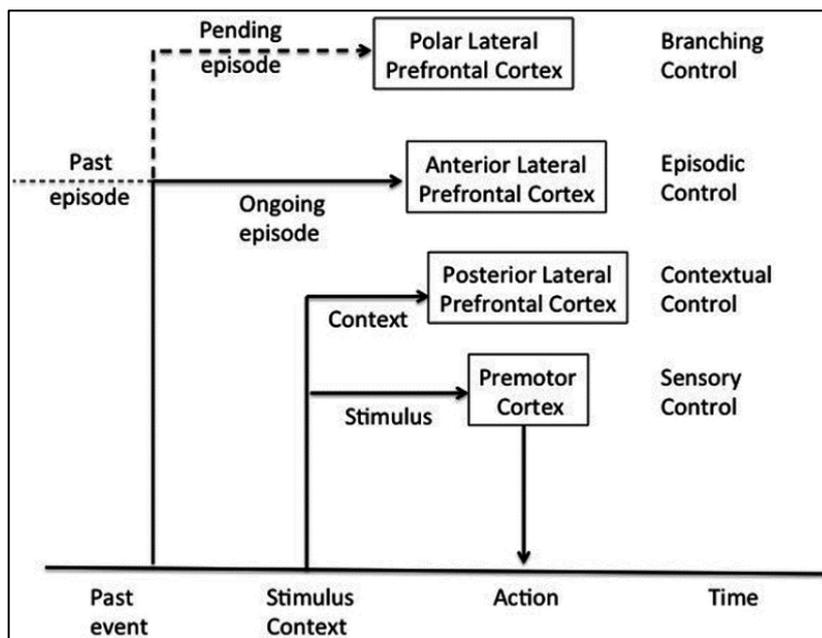
d) Unité ou diversité des fonctions exécutives (Miyake et al., 2000)

Les deux premiers modèles mentionnés plus haut (fig. 2 et 3) renvoient à une conception unitaire des fonctions exécutives. Or, s'ils ont permis de mieux comprendre le rôle du contrôle exécutif dans des activités de la vie quotidienne, ils ne reflètent pas la diversité des signes présentés par les patients souffrant d'un trouble des fonctions exécutives. Ce dernier point suggère une nature fractionnée du centre exécutif.

L'étude des corrélations entre trois fonctions exécutives (flexibilité mentale, inhibition et mise à jour de la mémoire de travail) par le biais de tâches simples (faisant appel à une seule fonction) et complexes (basées sur la déduction de règles) a démontré que ces fonctions étaient faiblement corrélées entre elles et relativement indépendantes les unes des autres mais également que ces trois fonctions contribuent différemment à la performance dans les tâches exécutives complexes. En revanche, il apparaît qu'elles partagent une fonction commune qui est le maintien du but de l'information contextuelle en mémoire de travail.

Ces résultats suggèrent qu'il est important de reconnaître l'unité et la diversité des fonctions exécutives.

e) Un modèle hiérarchique en cascade (Koechlin & Hyafil, 2007)



(Fig.4 Modèle du contrôle de l'action de Koechlin & Hyafil, 2007)

Selon ce modèle (Fig. 4), l'organisation du contrôle de l'action se fait selon un axe hiérarchique antéro-postérieur, au sein du cortex préfrontal dorsolatéral. Ainsi, plus on va vers le dernier niveau de contrôle « branching », plus on se situe en avant du lobe frontal :

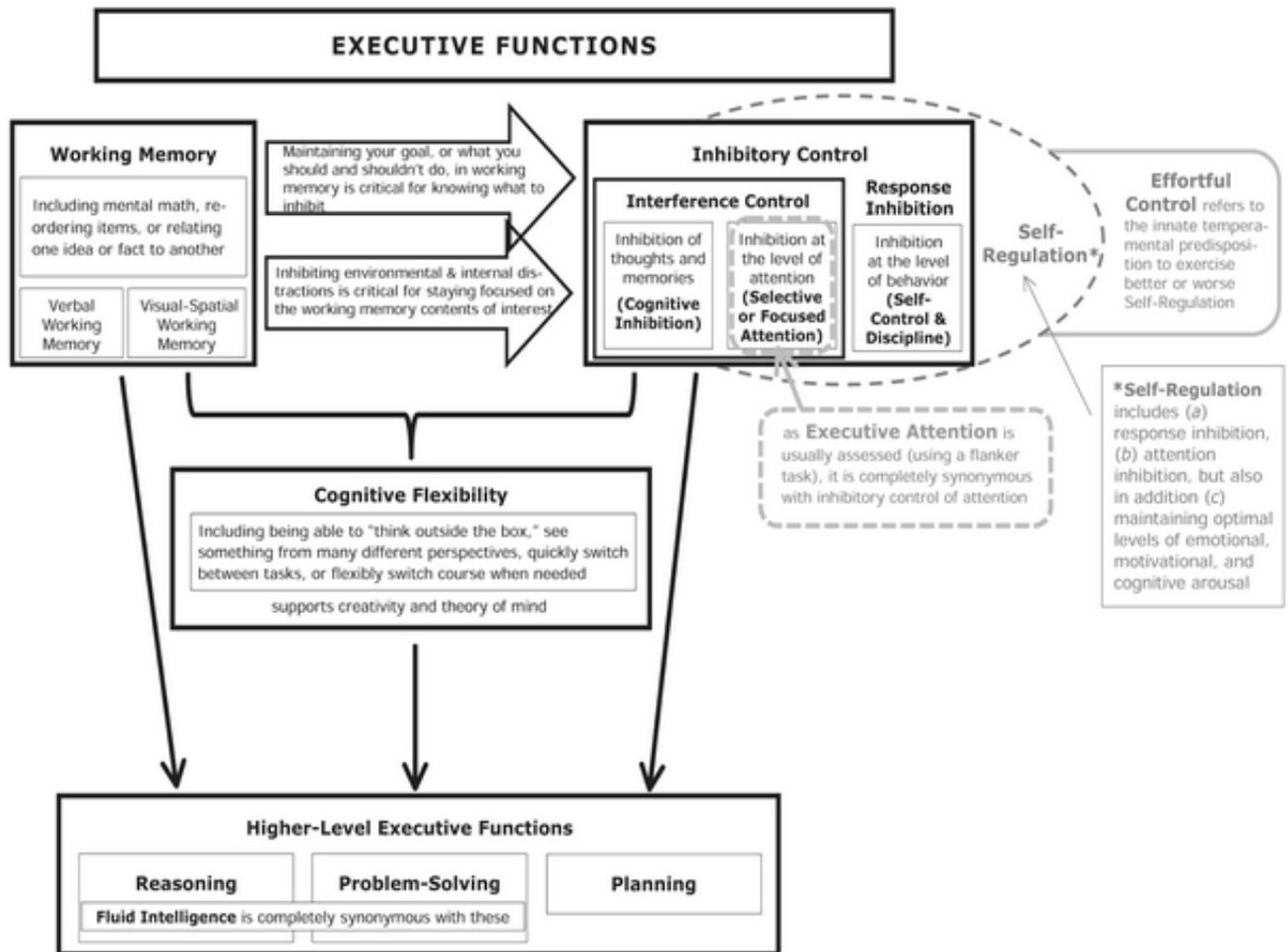
- **Contrôle sensoriel** (*ex : le téléphone sonne, je réponds*)
- **Contrôle contextuel** (*ex : ce n'est pas mon téléphone, je ne réponds pas*)
- **Contrôle épisodique** (*ex : l'ami est occupé et m'a demandé de répondre donc je réponds*)
- **Contrôle « branching »** (*ex : l'ami attend un appel important à une heure précise, il doit répondre donc je vais lui apporter son téléphone*)

f) Le modèle d'organisation des fonctions exécutives (Diamond, 2013)

Dans un article de synthèse paru dans la Revue Neuropsychologique en 2009, Olivier Godefroy précise que « la terminologie « fonctions exécutives » revêt donc différentes acceptions, certains auteurs en excluant les processus mnésiques « stratégiques », les troubles comportementaux ou la cognition sociale ».

Adele Diamond propose en 2013 un modèle théorique (Fig. 5) visant à clarifier les différents concepts liés aux fonctions exécutives et leurs liens. Elle organise ainsi les fonctions exécutives en 3 sous-systèmes de bas niveau, à savoir :

- **La flexibilité** : Capacité d'alterner dynamiquement entre différentes tâches, opérations ou registres mentaux.
- **L'inhibition** : Capacité à retenir de façon délibérée une réponse prépondérante, activée ou en cours et de contrôler l'interférence.
- **La mémoire de travail** : Elle a pour support la mémoire à court terme et permet à la fois un maintien temporaire, mais aussi la manipulation de l'information maintenue en mémoire.



(Fig. 5 Modèle d'organisation des fonctions exécutives de Diamond, 2013)

Certains auteurs ajoutent à ces fonctions l'attention (capacité à se centrer sur quelque chose ou quelqu'un, à se situer dans un contexte donné et dans une relation précise à l'objet ou l'interlocuteur, dans le but de recueillir des informations ou d'effectuer une tâche précise) et la planification (capacité à élaborer mentalement un plan afin de résoudre un problème) (Mazeau & Pouhet, 2014). Pour cette dernière, Diamond la range dans les fonctions exécutives de niveau supérieur, avec le raisonnement et la résolution de problèmes. Quant à l'attention, elle la place de façon plus transversale (le GREFEX ne l'a d'ailleurs pas individualisée au sein du fonctionnement exécutif).

2. Le développement des fonctions exécutives

La maturation des lobes frontaux et donc des fonctions exécutives s'effectue tardivement (jusqu'à la fin de l'adolescence / début de l'âge adulte) de par le développement caudo-rostral du cerveau humain. Cependant, on sait aujourd'hui que leur développement commence précocement, ainsi que le montrent divers travaux comme la mise en évidence

du paradigme A – non B de Jean Piaget, réussi entre 6 et 12 mois, confirmés par les changements d'activité cérébrale enregistrée chez le bébé (Roy, Gall, Roulin, & Fournet, 2012). De plus, le développement des fonctions exécutives s'accompagne d'une plus grande différenciation des fonctions exécutives avec une organisation en trois fonctions (mémoire de travail, flexibilité, inhibition) à partir de 6-8 ans.

Par ailleurs, les capacités cognitives relevées chez ce dernier correspondent aux fonctions exécutives : inhibition d'une réponse prépondérante voire réponse différée dans le temps, établissement d'un plan stratégique d'une séquence d'actions pour arriver au but, construction d'une représentation mentale de la tâche incluant l'information pertinente (Diamond, 2004).

Le tableau de description des tâches de fonctions exécutives confiées aux enfants d'âge préscolaire (annexe 1) nous informe sur les normes de développement de ces fonctions (Garon, Bryson, & Smith, 2008). Ainsi :

- Les tâches simples de mémoire de travail, à savoir garder les informations à l'esprit de manière différée, sont acquises à partir de 3 ans (la réponse différée à 5 mois).
- Les tâches complexes de mémoire de travail, à savoir garder à l'esprit et mettre à jour / manipuler des informations sont acquises à partir de 15 mois pour les tâches les plus simples, 3 ans pour les plus complexes.
- L'inhibition de la réponse simple, à savoir la retenue / le délai d'une réponse prépondérante ou automatique sont acquises de 4 mois (simple inhibition) jusqu'à 3 ans (choix d'une meilleure récompense ultérieure à une petite récompense actuelle).
- L'inhibition de la réponse complexe s'acquiert à partir de 22 mois (pour le pointage de petits fruits VS de gros fruits dans lesquels sont encastrés les petits) jusqu'à 4 ans (réussite à l'équivalent du jeu de « Jacques a dit »).
- Le changement de réponse s'acquiert à partir de 6 mois (avec le paradigme A-non B de Piaget), jusqu'à 12 mois (avec une variante du paradigme A-non B induisant une recherche multilocalisée).
- Le déplacement attentionnel (vers un nouvel aspect des stimuli proposés) s'acquiert à partir de 3 ans.

Les fonctions exécutives sont employées dans toute nouvelle tâche, si l'on sort d'un automatisme. Donc lorsque l'on propose une tâche de raisonnement piagétien, les fonctions exécutives sont nécessairement sollicitées. Pour illustrer ces liens, des propositions néo-piagésiennes ont formé la transition entre la théorie de Piaget et la

démarche neuropsychologique (Roy, Gall, Roulin, & Fournet, 2012). En effet, en ce qui concerne la mémoire de travail, Pascual-Leone forme l'idée de « schèmes exécutifs » (structures de planification et de contrôle permettant le traitement de l'information ou de l'action, temporellement structurées et tributaires du cortex préfrontal) puis Case la décrit à partir du concept « d'espace de traitement exécutif » (composé d'un espace de stockage et d'un espace de traitement, l'accroissement des possibilités de traitement étant lié à la réorganisation de l'espace consacré au stockage et au traitement).

D'autre part, Houdé avance que la capacité d'inhibition serait tout aussi importante que le processus de coordination/activation décrit par Piaget, dans le développement cognitif. Cette conception basée sur l'inhibition rejoint la proposition de Diamond au sujet de l'erreur A-non B qui serait due à l'inhibition et non une absence de la permanence de l'objet.

3. Le trouble des fonctions exécutives

Un trouble des fonctions exécutives induit des perturbations des « habiletés mentales et non pas comportementales, tels la planification, l'organisation, l'adaptation, le jugement, l'abstraction, le raisonnement, la flexibilité mentale, donc au processus nécessaire à la résolution de problèmes du quotidien » (Paquette, cité par Ferrand & Oliva, 2011).

Il est souvent confondu avec un syndrome dysexécutif car ce dernier se caractérise par une présence de problèmes de planification et d'organisation, par une diminution des capacités d'abstraction, par une faiblesse du raisonnement et des capacités de résolution de problèmes ainsi que par des difficultés en ce qui concerne la prise de décision. Tous deux présentent donc certaines manifestations cliniques en commun.

Cependant, il est nécessaire de préciser qu'une atteinte des fonctions exécutives ne recouvre pas l'ensemble des manifestations d'un syndrome dysexécutif. En effet, Paquette ajoute que « le syndrome dysexécutif englobe un ensemble de manifestations comportementales qui dépassent le trouble des fonctions exécutives tels que la désinhibition, l'apathie, l'égoïsme, l'impulsivité ou l'anosognosie ».

C) Raisonement et fonctions exécutives

Ainsi, les différents modèles présentés précédemment nous informent sur les fonctions exécutives en elles-mêmes mais ils questionnent sur la nature des relations entre les fonctions exécutives de bas niveau et le raisonnement. En effet, nous avons pu relever que Diamond positionne le raisonnement comme une fonction exécutive de haut niveau s'appuyant sur des fonctions exécutives de plus bas niveau (que sont la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité). Mais s'il permet de clarifier les différents concepts liés aux fonctions exécutives ainsi que leurs liens (notamment une distinction entre fonctions exécutives de bas et de haut niveau), il s'agit d'un modèle théorique qui n'explicite pas les combinaisons de fonctions exécutives de bas niveau nécessaires à chaque type de raisonnement.

Par ailleurs, de plus récentes études ont montré que les difficultés en mathématiques étaient en corrélation avec les déficits de certaines fonctions exécutives : mémoire de travail, flexibilité et inhibition (Bull & Scerif, 2001) ainsi que planification, flexibilité et inhibition (Clark, Pritchard, & Woodward, 2010). Plus récemment, des mémoires d'orthophonie se sont également intéressés à la relation entre fonctions exécutives et le domaine logico-mathématique (Labie, 2012 ; Gaulard, 2014).

Nous avons également pris en compte l'observation clinique de plusieurs orthophonistes de notre entourage d'une difficulté à différencier un trouble des fonctions exécutives (ou un syndrome dysexécutif) d'un trouble du raisonnement puisque, comme nous l'avons vu, tous deux recouvrent certaines manifestations cliniques communes. Or, on peut supposer que ces deux types de troubles ne nécessitent pas la même prise en charge.

L'intérêt serait donc, à partir du postulat du modèle de Diamond (Fig. 5), de trouver de l'évidence empirique dans la littérature afin de mieux caractériser les liens entre fonctions exécutives de bas niveau et les différents types de raisonnement, par la mise en évidence de corrélations entre performances de raisonnement et performances dans les fonctions exécutives chez des sujets sains. Pour ce faire, nous emploierons la méthode PRISMA permettant d'effectuer une revue systématique de la littérature.

Nous avons ainsi basé notre problématique sur le fait de savoir s'il existe une corrélation entre les fonctions exécutives de bas niveau (flexibilité, inhibition et mémoire de travail) et le raisonnement et d'analyser le lien les unissant si c'est le cas.

Nos hypothèses sont donc formées sur la corrélation entre chaque fonction exécutive de bas niveau et le raisonnement, à savoir :

- H1 : Les performances en mémoire de travail sont corrélées au raisonnement.
- H2 : Les performances en inhibition sont corrélées au raisonnement.
- H3 : Les performances en flexibilité mentale sont corrélées au raisonnement.

L'objectif sera donc ici de dresser un état des lieux sur la corrélation entre fonctions exécutives et raisonnement, afin d'avancer sur la nature du lien entre fonctions exécutives et raisonnement dans le but d'apporter un éclairage à la prise en charge des patients présentant un trouble du raisonnement ou un trouble des fonctions exécutives.

III - Méthode

A) Identification : recherche de la littérature

1/ Question de recherche

Notre questionnement de départ concernait le lien entre syndrome dysexécutif et trouble du raisonnement, afin d'améliorer la prise en charge des patients porteurs de ces différents troubles. Nos premières recherches nous ont permis de relever la différenciation entre trouble des fonctions exécutives et syndrome dysexécutif mentionnée plus haut, aussi nous avons décidé d'objectiver le lien entre fonctions exécutives et trouble du raisonnement, de manière plus générale. Ainsi, nous nous sommes demandé si une atteinte des fonctions exécutives de bas niveau (flexibilité, inhibition et mémoire de travail ; (Diamond, 2013)) entraînait nécessairement une atteinte du raisonnement.

Cependant, il était difficile de trouver des études sur un sujet si précis, ce pourquoi nous avons décidé de tailler plus large pour analyser le lien entre fonctions exécutives et raisonnement, ce qui a fait émerger la question suivante : « Existe-t-il une corrélation entre les fonctions exécutives de bas niveau (flexibilité, inhibition et mémoire de travail) et le raisonnement ? ».

En santé, les critères PICO(S) décrivant des éléments pertinents à inclure dans cette question de recherche sont souvent utilisés. Le P définit la population, les perspectives ou le problème ; le I l'intervention évaluée ; le C la comparaison avec d'autres études / références / méthodes / interventions ; le O les « outcomes » (ou résultats) nous donnant l'issue clinique ou la pratique recherchée et le S le type d'études sélectionné (qui n'est pas toujours employé).

Ces critères peuvent être répertoriés pour chaque article dans un tableau auquel on peut ajouter la qualité scientifique des références relevées.

Pour formuler au mieux notre question de recherche, nous avons choisi les critères généraux suivants, afin d'être les plus exhaustifs possible :

- **P (population)** : Personnes saines, dans un contexte développemental.
- **I (intervention)** : Les tests mesurant le raisonnement et les fonctions exécutives.
- **C (comparaison)** : Corrélations ou non entre chaque fonction exécutive et le raisonnement.

- **O (outcomes / résultats)** : Les études montrent une corrélation entre chaque fonction exécutive de bas niveau (inhibition, mémoire de travail, flexibilité) et le raisonnement.
- **S (type d'études)** : Tous types d'études.

2/ Equation de recherche

Nous avons donc commencé nos recherches avec les mots-clés « trouble du raisonnement » et « fonctions exécutives » pour les bases de données françaises mais cela n'a donné aucun résultat car le premier terme était probablement trop spécifique, ce pourquoi nous l'avons élargi à « raisonnement ». La troncature « raison* » n'était pas pertinente pour notre sujet, nous ne l'avons donc pas utilisée.

Après avoir recherché la traduction anglaise de nos mots-clés initiaux sur le site du CISMef (HeTOP) ainsi que sur celui de l'Inserm (MeSH : thésaurus de mots clés utilisés dans le monde médical planétaire mis au point par la National Library of Medicine), nous avons retenu l'expression « executive functions » pour « fonctions exécutives ». Celle de « trouble du raisonnement » ne donnait en revanche aucun résultat de traduction pour le premier site et des résultats qui ne correspondaient pas à notre référence sur le second. Nous avons alors choisi la traduction « reasoning disorder », après avoir trouvé des articles l'employant lors de nos recherches dans la littérature. Cette dernière expression ne nous donnant pas non plus de résultat sur les bases de données internationales, nous avons également élargi le concept à « reasoning ».

Nos premières recherches ont été effectuées sans filtre mais elles donnaient des centaines de résultats qui n'étaient pas du tout pertinents pour notre sujet, ce pourquoi nous avons commencé par filtrer par « Titre / résumé » puis par « Titre » pour certaines bases de données, puisque le premier filtre donnait également trop de résultats sans rapport avec notre questionnement. Pour d'autres nous avons au contraire dû élargir au filtre « Titre, mots clés, résumé » puisque le titre seul ne donnait aucun résultat, mais nous nous sommes attendus dans ce cas à obtenir des articles trop généraux sur le sujet.

Devant le peu de résultats trouvés pour chacune de nos recherches, nous n'avons pas eu besoin d'exclure de termes de notre équation de recherche (tels que « maladie / disease », « pathologie / pathology » ou encore « schizophrénie » / « schizophrenia » qui revenait très souvent dans les articles proposés).

3/ Bases de données utilisées

Nous avons directement recherché des ressources dans le SUDOC, qui est le catalogue collectif français réalisé par les bibliothèques et centres de documentation de l'enseignement supérieur et de la recherche. Il regroupera donc également les résultats contenus dans Archipel (le catalogue des bibliothèques universitaires toulousaines). Les résultats donnés sont des notices bibliographiques qui décrivent tous les types de documents mais il ne s'agit pas d'articles scientifiques. L'intérêt ici était aussi surtout d'alimenter notre partie théorique et nos connaissances sur le sujet à partir de livres ou thèses publiés car ce type de documents manque de validité scientifique pour une revue de la littérature.

Nous avons également cherché sur le site de la BDSP qui propose aussi une base de données bibliographiques, mais qui elle dispose également d'articles. Elle est constituée de bibliothèques, centres de documentation, producteurs et diffuseurs d'information spécialistes du domaine de la santé publique.

Nous avons ensuite utilisé la base de données EM Premium, appartenant à l'éditeur Elsevier Masson. Elle n'est donc par définition pas exhaustive et ses références sont pour la plupart francophones mais elle possède une bonne validité scientifique. Science Direct étant la plateforme d'Elsevier et la bibliothèque universitaire de la faculté ne nous y donnant pas accès, nous avons donc effectué notre recherche directement sur EM Premium.

Enfin, nos dernières recherches ont porté sur la base de données PubMed, possédant également une très bonne validité scientifique. Il s'agit d'une ressource contenant les citations de littérature biomédicale tirée de MEDLINE, de revues de sciences de la vie et de livres en ligne.

B) Sélection des articles

1/ Duplicata

Pour éviter les doublons lors du croisement des différentes bases de données, nous avons effectué un tableau Excel dans lequel nous avons regroupé tous les articles avec leurs titres, auteurs et abstracts (annexe 3).

2/ Critères d'inclusion et d'exclusion sur base des titres et résumés

Dans les bases de données, les articles ont été filtrés :

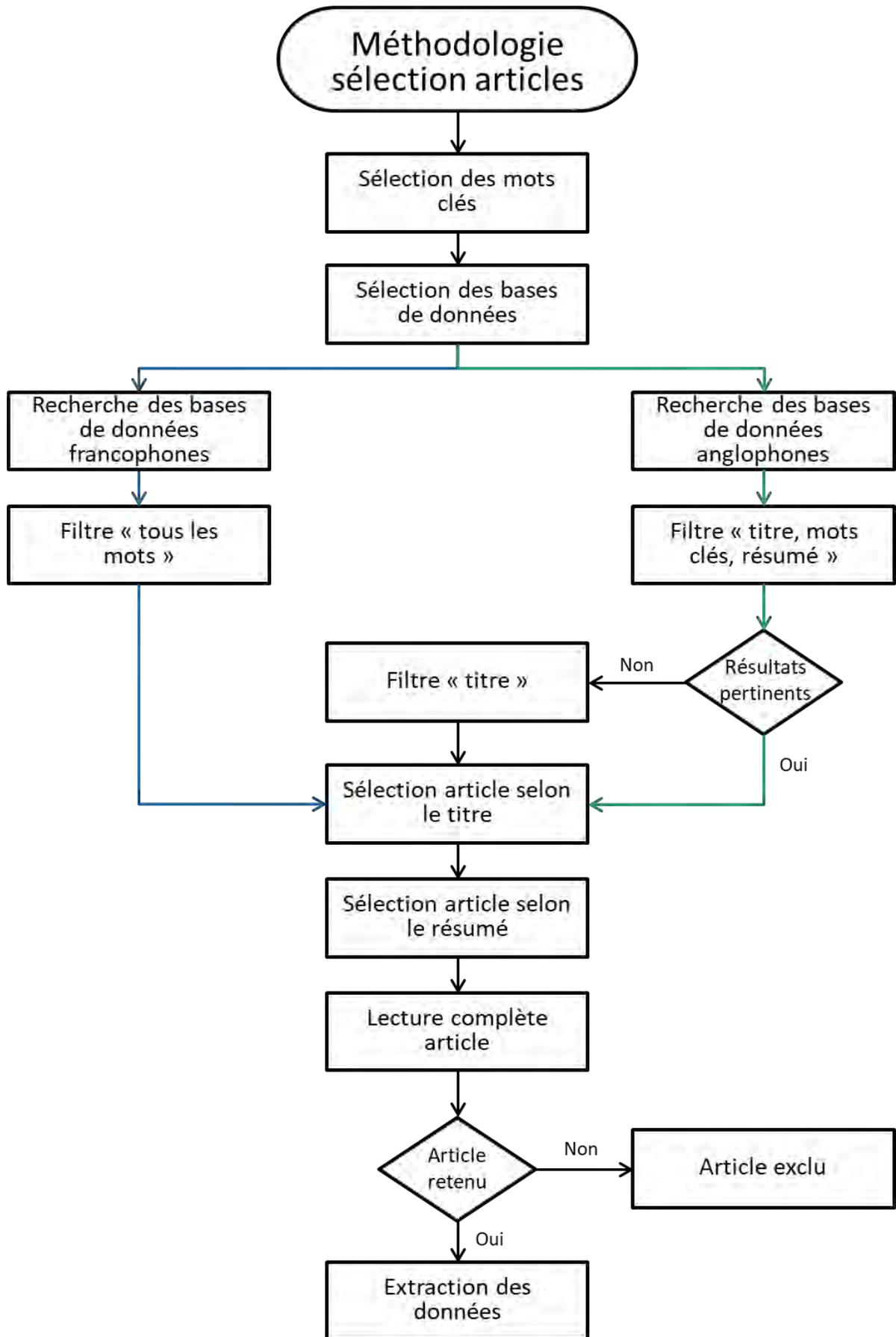
- par langue (anglais et français)
- par mots-clés
 - o présents dans tous les mots pour les bases de données françaises
 - o systématiquement présents dans le titre, les mots-clés précisés par le document et le résumé ou seulement dans le titre, en fonction des résultats donnés, pour les bases de données internationales.

Par ailleurs, nous avons volontairement décidé de ne pas filtrer par année de parution comme il peut être intéressant de le faire dans certains domaines qui relèvent de techniques récentes (en général dans les 5 dernières années) car la validité des recherches sur notre sujet est toujours d'actualité.

A partir de là, nous avons exclu les documents dont la population ne correspondait pas à celle que nous recherchions (lorsqu'il y avait une étiologie associée).

3/ Mise en commun et décision

Pour faciliter la compréhension de notre démarche méthodologique, nous avons choisi de présenter notre *Flow Chart* sous forme de logigramme (Fig. 6), selon lequel a été faite notre sélection d'articles, avec l'aide d'un tableau PICOS (annexe 2). Ce dernier a été rempli par « oui » ou « non » en fonction de la présence de chacun des critères que nous avons définis. Y a été ajoutée une colonne « validité scientifique » pour prendre en compte les biais pouvant être liés à chaque document.



(Fig. 6 Flow Chart de sélection des articles de notre revue de la littérature)

a) SUDOC

Comme expliqué dans la précédente partie concernant l'identification de notre question de recherche, nous avons ici voulu tailler au plus large pour obtenir des résultats. Nous avons donc employé les expressions « fonctions exécutives » et « raisonnement » (avec le filtre « tous les mots » pour chacun des termes), ce qui nous a donné 12 résultats. Sur la base de leurs titres, nous n'en avons retenu que 5 à approfondir en lecture de résumé dans un premier temps (annexe 3) les autres étant des doublons ou ne correspondant pas à notre population (patients non porteurs de pathologies associées).

Après lecture des résumés de ces documents et remplissage de notre PICOS en parallèle, nous n'avons retenu que 2 documents pour notre revue. 2 d'entre eux n'étaient pas assez valides scientifiquement car il s'agissait de mémoires d'orthophonie, mais nous les avons mis de côté pour leur éventuel apport clinique, sans les inclure à notre base de documents concernant la revue à proprement dite. Et le dernier document ne concernait pas la bonne population pour notre sujet (il y avait une étiologie due au vieillissement associée).

Les 2 documents retenus sont des thèses de psychologie, donc scientifiquement moins valides que des articles scientifiques, mais nous avons trouvé intéressant de les conserver car leurs sujets étaient directement en rapport avec notre questionnement. Il faudra cependant conserver à l'esprit ce biais de validité scientifique.

b) BDSP

Nous avons cherché sur le site de la BDSP avec les mêmes mots-clés que sur la base de données précédentes (« fonctions exécutives raisonnement »), ce qui nous a donné 4 références dont seulement 2 en rapport avec notre sujet, qui seront également à approfondir sur la base de leur résumé (annexe 3).

Après lecture du résumé, nous ne les avons pas retenues car il s'agissait davantage d'une présentation des fonctions exécutives que de documents servant à répondre à notre problématique. Cependant, il est intéressant de noter que ces deux ouvrages classent également le raisonnement directement dans les fonctions exécutives (Fourneret & Des Portes, 2017) (Pradat-Diehl, Azouvi, & Brun, 2006).

c) EM Premium

Nous nous sommes ici servis des opérateurs « + » afin que nos termes soient systématiquement présents dans le résultat de la recherche et les guillemets autour de

l'expression « fonctions exécutives » / « executive functions » dans le but de rechercher l'expression exacte.

Nos premières recherches ont été réalisées en français avec +raisonnement +« fonctions exécutives » avec le filtre « Titre, mots clés, résumé » qui nous a donné 16 résultats dont 14 sans rapport avec notre population et 2 très généraux sur les fonctions exécutives (dont 1 doublon avec un document de la BDSP). Nous n'en avons donc conservé aucun.

Puis nous avons effectué des recherches avec les termes anglais que nous avons retenus : +reasoning +"executive functions". Le filtre « Titre, mots clés, résumé » a alors fait ressortir 8 résultats dont 1 seul pouvait nous intéresser (les autres articles concernaient tous la schizophrénie ou la manie, donc les troubles évoqués étaient liés à une étiologie) (annexe 3).

Pour ne faire ressortir que les références les plus valides scientifiquement, nous aurions pu filtrer par type de document en ne choisissant que les articles et les actes de congrès car les livres ne sont pas nécessairement relus par des pairs mais comme cette première recherche ne nous a donné que peu de résultats, nous avons choisi d'approfondir l'intérêt de chaque document.

Après lecture du résumé du seul document retenu, nous avons choisi de le conserver dans notre revue car il correspondait à nos critères PICOS.

d) PubMed

Sur le site de PubMed, en utilisant les mots clés « executive functions » AND « reasoning » avec le filtre « Title/abstract », nous sommes tombés sur 283 résultats.

Pour affiner davantage et obtenir les articles les plus pertinents, nous avons finalement décidé d'employer le filtre « Title », ce qui nous a donné 9 résultats. Nous en avons enlevé un qui ne correspondait pas à notre population, ce qui nous a donc permis de relever 8 articles (annexe 3).

Après lecture des résumés de ces 8 articles et avec l'aide du tableau PICOS, nous n'en avons gardé que 7, le dernier concernant des patients traumatisés médullaires. Sur ces 7 articles restants, certains ne concernent qu'un seul aspect du raisonnement ou encore qu'un seul type de tâche (en général en rapport avec la prise de risques) mais nous avons trouvé intéressant de tous les analyser pour faire émerger des résultats. Il est à noter que les résultats les plus pertinents semblent concerner cette base de données, les autres

documents restant plus généraux et surtout moins valides scientifiquement que les articles proposés dans PubMed.

C) Evaluation des risques de biais

Au cours de notre recherche, nous avons établi qu'il était nécessaire de porter une attention particulière aux biais inhérents à la revue de la littérature :

- Toutes les études appropriées qui ont répondu à une même question clinique précise ne sont pas forcément publiées (ou seule une partie des résultats de ces études est publiée).
- Certaines études ne décrivent pas suffisamment la méthode utilisée et les résultats obtenus.
- Les études sont souvent réalisées dans des conditions "idéales" et non proches de la pratique.

Par ailleurs, d'autres biais peuvent être mis en évidence, mais nous pouvons tenter de les pallier par diverses méthodes :

- La qualité scientifique des documents relevés, qui peut être améliorée en effectuant nos recherches dans des bases de données dont la validité scientifique est importante, en sélectionnant nos articles parmi des revues ayant un *Impact Factor* satisfaisant (c'est-à-dire le nombre moyen de citations de chaque article publié dans cette revue, qui est un bon indicateur de visibilité scientifique), mais également en portant attention au type de document utilisé (sachant que les livres ne sont pas nécessairement relus par des pairs et que les mémoires n'ont pas de valeur scientifique).
- La subjectivité de la mise en commun et de la décision de la sélection d'articles, qui peut être objectivée par des critères d'inclusion et d'exclusion.
- L'accès restreint aux articles complets (certains ne sont pas consultables au-delà de leur résumé, à moins d'un abonnement à leur base de données, dont ne dispose pas toujours la faculté) qui pourraient au final ne pas correspondre à notre PICOS ou ne pas être assez fournis ou rigoureux. Ce dernier point ne peut malheureusement être pallié, mais nous pouvons mentionner les articles concernés pour qu'une personne qui y aurait accès puisse les consulter si elle le souhaite.

Le tout pourra être rassemblé sous forme de tableau constituant une grille d'évaluation des risques de biais, que nous avons pour notre part ajouté à notre tableau PICOS dans une colonne intitulée « Qualité scientifique » (annexe 2).

D) Extraction des données

Les données des documents ont d'abord été recueillies à l'aide d'un tableau Excel comportant une colonne pour la base de données utilisée, une pour les mots clés rentrés, une pour les filtres employés, une pour le nombre d'articles trouvés à la suite de cette recherche, une pour le nombre d'articles relevés après une première sélection basée sur le titre du document puis pour chaque document relevé une colonne pour son titre, une pour le nom de ses auteurs ainsi qu'une pour sa date de publication (annexe 3). Nous avons rempli ce dernier tout en lisant chaque document.

A été ajoutée à ce tableau une colonne « Intérêt » selon la conclusion de ce qui a été relevé pour le document en question dans le tableau PICOS (annexe 2) rempli au fur et à mesure de la lecture du titre, puis du résumé et enfin de l'article en lui-même lorsque l'article avait été présélectionné.

Dans ce tableau PICOS, nous avons également tenu compte de la validité scientifique des documents, tout d'abord en fonction de leur type. En effet, le niveau de preuves dépend du type de document, à savoir qu'ils sont hiérarchisés dans cet ordre (du plus valide au moins valide) : méta-analyse, revue systématique, essai contrôlé randomisé, étude transversale, étude de suivi ou de cohorte, étude de cas témoin. Puis nous avons approfondi la validité de ces documents selon les données de l'étude réalisée, à l'aide d'une grille d'analyse d'article (annexe 4). Ainsi nous avons pu relever les risques de biais de chaque étude incluse dans notre revue.

E) Analyse des données

Les données recueillies ont été analysées selon la méthodologie d'une revue qualitative de la littérature. Celle-ci est constituée de plusieurs étapes :

- 1) Chercher toutes les études existantes, essais cliniques ou autres études appropriées, publiées ou non, qui ont répondu à une même question clinique précise.
- 2) Evaluer la qualité de chaque étude et sélectionner celles qui correspondent à un standard de qualité élevé.
- 3) Effectuer la synthèse des résultats obtenus dans les études sélectionnées.
- 4) Si les données le permettent, effectuer une analyse statistique, appelée méta-analyse, qui permet de regrouper les résultats quantifiés provenant de plusieurs études en un résultat.

Pour notre part, la première étape a été effectuée après l'établissement de notre équation de recherche et donc de nos mots clés par la procédure décrite par notre *Flow Chart* de sélection d'articles. Les données recueillies ont ensuite subi une sélection à l'aide de notre tableau PICOS (annexe 2) afin de cibler notre questionnement. Ensuite, la deuxième étape a été réalisée à l'aide d'une grille d'analyse d'articles (annexe 4). Nous précisons que la dernière étape n'a pas été effectuée car les données relevées ne le permettaient pas.

IV – Résultats

Nos résultats relevés ont été regroupés dans un tableau Excel (annexe 3).

A) Document 1

Evidence of construct similarity in Executive Functions and Fluid Reasoning abilities (Decker, Hill, & Dean, 2007)

Cet article reprend le fait que les fonctions exécutives et le raisonnement fluide (capacité à raisonner en cas de nouvelle situation, que les auteurs envisagent comme une mesure du raisonnement abstrait) sont tous deux considérés comme des aspects essentiels de l'intelligence et influencés par le fonctionnement du lobe frontal. Ils ont souhaité caractériser les liens entre ces deux concepts, après élaboration de 3 modèles théoriques hypothétiques (annexe 5) : le premier modèle (Figure 1) indiquait qu'il s'agissait de deux facteurs (fonctions exécutives et raisonnement fluide) non corrélés, le second deux facteurs corrélés (Figure 2) et le troisième qu'il s'agissait en fait d'un seul et même facteur (Figure 3).

Pour ce faire, ils ont fait passer plusieurs tests reconnus pour mesurer différents aspects des fonctions exécutives à 67 étudiants en psychologie volontaires : le Measures such as the Category Test (CT), le Trail Making Test B (TMT-B), le Wisconsin Card Sorting Test (WCST) ainsi que trois subtests du WJ-R Fluid Reasoning Cluster. Ils ont ensuite étudié les corrélations entre tous ces tests et subtests.

Leurs résultats montrent une forte corrélation entre chaque lien pour les modèles 2 et 3 et moindre pour le 1.

Cette étude fournit des preuves d'association entre les mesures du fonctionnement exécutif et le raisonnement fluide dans les deux sens mais les résultats ne fournissent pas suffisamment d'informations pour déterminer si le modèle 2 est meilleur que le modèle 3 car tous deux ont des résultats équivalents. De plus, cette étude démontre que l'élément commun mesuré parmi les tests des fonctions exécutives (CT, TMT-B et WCST) est similaire à l'élément commun mesuré dans les tests de raisonnement fluide (les trois subtests du WJ-R).

Il est cependant à noter que les résultats de cette étude sont à modérer car outre le résumé assez vague, les auteurs, alors doctorants en neuropsychologie, ont laissé apparaître un choix de méthodes ainsi que des analyses peu détaillés. Nous pouvons donc soulever la question de la validité scientifique.

B) Document 2

Executive functions underlying multiplicative reasoning: problem type matters (Agostino, Johnson, & Pascual-Leone, 2010)

Dans cet article, les auteurs sont partis du postulat relevé par de précédentes études que les personnes ayant de faibles compétences en mathématiques ont un déficit dans certains aspects de l'administrateur central du modèle de Baddeley qu'il y a une corrélation entre les capacités de mémoire de travail et les performances en mathématiques (entre autres la compétence multiplicative des enfants). Par ailleurs, ils précisent que Bull et al. (1999 ; 2001) ont démontré un lien entre de faibles compétences en raisonnement mathématique et des problèmes d'inhibition des réponses prépondérantes. De plus Passolunghi et Siegel (2001) ont émis l'hypothèse que l'inhibition pourrait jouer un rôle médiateur dans la relation entre la mémoire de travail et les performances en mathématiques.

Dans leur étude, ils ont souhaité examiner dans quelle mesure l'inhibition, la mise à jour, la flexibilité et l'attention (capacité M) contribuaient à la capacité des enfants de résoudre des problèmes multiplicatifs. Ils ont émis l'hypothèse que l'impact de l'âge serait partiellement compensé par le développement des ressources d'attention mentale (capacité M et inhibition) qu'ils ont modélisée pour deux types de problèmes (annexe 6). Par ailleurs, les auteurs ont également construit un modèle alternatif (annexe 7) afin de comparer les prédictions de leur modèle théorique avec un modèle dans lequel l'inhibition et la capacité M sont positionnées en tant que fonctions exécutives de base. Dans ces deux modèles la capacité de traitement, l'inhibition et la mise à jour se positionnent comme des prédicteurs importants du raisonnement multiplicatif mais selon ce modèle alternatif, l'âge est un prédicteur direct de la capacité M, de l'inhibition, de la mise à jour et de la flexibilité qui sont à leur tour (excepté la flexibilité) des prédicteurs directs de la résolution de problèmes de multiplication. Ils ont ainsi fait résoudre à 155 enfants de la 3^e à la 6^e année (8-13 ans) un ensemble de problèmes multiplicatifs à deux niveaux de difficulté (à une étape ou à plusieurs étapes). Les sujets ont également passé un test de compréhension de la lecture et une batterie de mesures d'inhibition, de mise à jour, de flexibilité et d'attention.

Les auteurs ont relevé que l'inhibition était en corrélation modérée avec le score mathématique. Une relation légèrement plus forte a été trouvée entre la mémoire de travail et les mathématiques. De plus, les résultats ont montré que la mise à jour permettait d'établir une relation entre la performance en multiplication (en tenant compte du score de compréhension en lecture pour éviter les biais) et la capacité M et l'inhibition. En effet, la mise à jour joue un rôle plus important que l'âge dans la prévision des performances pour

les problèmes en plusieurs étapes, alors tous deux sont des prédicteurs tout aussi importants pour les problèmes en une étape. L'attention et l'inhibition prédisent la mise à jour et la flexibilité, et la mise à jour modifie les effets de l'inhibition et de l'attention sur la performance de multiplication. En revanche, la flexibilité n'était effectivement pas un facteur prédictif significatif des performances multiplicatives. Enfin, les mesures de la capacité mentale qui ne reposent pas sur une double tâche ou sur un paradigme de la mémoire prédisent les performances en mathématiques des enfants. Le modèle alternatif n'était lui pas corrélé, quel que soit le type de problème.

Ainsi, cette étude fournit tout d'abord des preuves empiriques au modèle de développement théorique qui postule que les fonctions exécutives jouent un rôle médiateur dans la relation entre les capacités de résolution de problèmes de multiplication, l'âge et les capacités cognitives essentielles d'attention et d'inhibition (annexe 6). D'autre part, elle montre que l'impact relatif des fonctions exécutives dans le raisonnement mathématique dépend du type de problème : en effet, la possibilité de mettre à jour des informations dans la mémoire de travail est particulièrement importante pour les problèmes verbaux nécessitant une coordination en plusieurs étapes.

C) Document 3

The interpretation of proverbs by elderly with high, medium and low educational level: Abstract reasoning as an aspect of executive functions (Wachholz & Yassuda, 2011)

Les auteurs de cet article sont partis du fait que les fonctions exécutives (dont le raisonnement abstrait, qu'ils considèrent comme une sous-composante des fonctions exécutives et qu'ils définissent comme « la capacité de résoudre des problèmes impliquant des symboles abstraits ») déclinent avec l'âge. Leur objectif était d'examiner l'association de la performance dans l'interprétation des proverbes avec la mémoire épisodique et les tâches de fonctions exécutives.

Ils ont donc fait passer le test des proverbes (qui est un instrument pouvant être utilisé pour évaluer la capacité de raisonnement abstrait) à 67 personnes âgées de 60 à 75 ans échantillonnées selon leur niveau d'éducation. Ils ont également employé un questionnaire sociodémographique, le MMSE, une batterie de dépistage cognitif sommaire (la BRIEF), le Inverse Digit span test ainsi que la WAIS-III.

Outre l'impact important de l'éducation sur l'interprétation des proverbes (avec une performance inférieure chez les personnes âgées moins éduquées), les résultats montrent

une association significative entre la performance au test des proverbes et les scores aux tests MMSE, GDS et de fluence verbale.

Les auteurs ont pu en conclure que la capacité d'interpréter des proverbes est fortement associée à l'éducation et à la performance dans d'autres tâches des fonctions exécutives, mais pas avec le raisonnement abstrait.

D) Document 4

Développement du raisonnement analogique : rôle de la composante exécutive d'inhibition (Vezneva, 2011)

Cette thèse nous permet de mieux cerner l'implication de l'inhibition, dans la compréhension des analogies sémantiques par les enfants. Elle part du postulat que les enfants sont capables de percevoir une solution analogique mais de ne pas la choisir à cause de la nature et de la saillance des autres choix proposés.

Elle présente 9 études consistant en des tests d'inhibition avec distracteurs perceptifs ou sémantiques qui entrent en compétition avec la solution analogique, par le biais d'une tâche classique d'analogie. Ont été manipulées différentes variables : la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie, le nombre et la nature des distracteurs. L'auteur a évalué la capacité d'inhibition des enfants ainsi que leur niveau d'acquisition de vocabulaire.

Ces expériences ont mené à différentes conclusions dont le fait que la force d'association entre les items de chaque paire de l'analogie mais également la nature du distracteur jouent un rôle important dans l'analogie, tout comme l'accroissement des connaissances sémantiques et un meilleur niveau de vocabulaire. Cependant, le résultat qui nous intéresse le plus pour notre sujet est le fait que l'inhibition a bien un rôle dans le raisonnement par analogie car l'augmentation du nombre de distracteurs sémantiques fait chuter les performances uniquement lorsque l'association entre les items de chaque paire de l'analogie est faible (ce qui nécessiterait plus d'inhibition car le sujet doit exploiter toutes les solutions possibles et inhiber celles qui sont saillantes mais non pertinentes pour faire l'analogie).

De fait, les résultats montrent que les informations saillantes mais non pertinentes pour trouver la solution analogique interfèrent avec sa découverte ou sa construction. Par conséquent, les performances des enfants à la tâche d'analogie dépendraient non seulement de l'accroissement de leurs connaissances sémantiques mais également du

degré de développement de leurs fonctions exécutives, en particulier de leur capacité à gérer le coût cognitif et à inhiber les solutions saillantes non pertinentes.

Il faut cependant noter que la validité scientifique de ce document n'est pas optimale puisqu'il s'agit d'une thèse. Les résultats sont peut-être donc à modérer.

E) Document 5

Raisonnement par analogie et son développement : rôle des fonctions exécutives et du but de la tâche (Glady, 2013)

Cette thèse nous renseigne sur l'implication des fonctions exécutives dans le raisonnement par analogie. Elle décrit 8 expériences divisées en 3 séries.

La première série d'expériences est basée sur l'implication des capacités de gestion de buts et d'engagement des fonctions exécutives dans le raisonnement par analogie et son développement. Pour ce faire, l'auteur a fait passer deux tâches différentes de raisonnement par analogie à des adultes et des enfants de 6-7 ans et a évalué les stratégies visuelles employées. Ces expériences démontrent des différences de stratégies visuelles entre les tâches ayant des buts différents ainsi que des différences de modèles visuels liés à l'inhibition de l'information non pertinente entre adultes et enfants.

La deuxième série d'expériences étudie les stratégies visuelles, en lien avec le fonctionnement exécutif et le maintien du but, dans une tâche dont la difficulté est manipulée afin de mettre en évidence des différences d'engagement de processus de contrôle et d'évaluation. Ces études montrent un effet de la difficulté de la tâche et du type de distracteur sur les stratégies visuelles.

Pour sa dernière série d'expériences, l'auteur part du postulat que les jeunes enfants éprouvent des difficultés dans les tâches nécessitant de changer de représentation durant leur solution (faisant donc appel à la flexibilité mentale). De ce fait, ils devraient avoir les mêmes difficultés pour résoudre une tâche de raisonnement par analogie, si celui-ci nécessite de faire appel à la flexibilité. Les résultats montrent qu'outre les soucis qu'éprouvent les enfants de 5-6 ans pour maintenir le but de la tâche durant toute la résolution du problème, leur ancrage dans un type de représentation est lié à leur capacité de résolution du problème et qu'ils ont du mal à changer de représentation au cours de la résolution. Effectivement, la construction d'une représentation en mémoire de travail est liée à sa capacité à inhiber et à coordonner les activations de certaines informations en mémoire de travail dans le temps.

Ainsi, par le biais de ses 8 expériences, Glady démontre que les fonctions exécutives permettent de manipuler l'information des représentations afin de la transformer pour atteindre le but de la tâche : d'une part les distracteurs étaient plus difficilement inhibés dans les cas où ils prenaient en compte la plupart des contraintes qui reposaient sur la solution de la tâche et d'autre part, lorsque la représentation du domaine source n'était pas assez claire pour discriminer la solution des autres réponses possibles, cela provoquait une difficulté pour les adultes à engager l'inhibition de l'information provenant des distracteurs. En outre, il s'avère que le maintien du but, difficile chez l'enfant, l'empêche de mettre en place des ressources exécutives lorsque c'est nécessaire.

Cependant, comme pour le document précédent, il s'agit d'une thèse de psychologie ce pourquoi il faut être vigilant sur la qualité scientifique des résultats.

F) Document 6

Rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement par analogie chez l'enfant et le primate non humain (Minier et al., 2014)

Cette revue nous informe sur les travaux précédemment effectués en rapport avec le raisonnement analogique en appuyant sur le fait que les capacités en raisonnement analogique dépendent de l'efficacité du contrôle exécutif. Or, l'efficacité du contrôle exécutif varie en fonction de l'âge, comme le montrent Zelazo et al. (2004).

Ainsi, les travaux de Baddeley et Hitch (1974), d'Halford et al. (1998 ; 2010), tout comme ceux de Richland et al. (2006), avancent l'idée que l'amélioration du raisonnement analogique durant l'enfance serait au moins partiellement attribuée au développement de la mémoire de travail car l'enfant serait à même de traiter de plus en plus d'informations en parallèle. Par ailleurs, la diminution des performances liée à la complexité des relations d'appariement tend à diminuer avec l'âge et à se majorer dans des populations éprouvant des difficultés en mémoire de travail (telles que les personnes âgées et les personnes cérébro-lésées).

Sont présentées dans cette revue les trois fonctions de contrôle distinguées par Miyake et al. (2000) et reprises dans le modèle de Diamond, à savoir l'inhibition, la flexibilité et la mise à jour en mémoire de travail. Dans une tâche de raisonnement analogique, ces trois fonctions seraient directement impliquées car le participant doit encoder les termes de l'analogie pour construire une représentation de la paire source en mémoire de travail et la maintenir durant le processus d'appariement afin de rechercher la cible correspondante. Durant cette recherche, il doit également ignorer les relations non pertinentes présentes dans l'ensemble des solutions (distracteurs) ou qui lui viendraient spontanément à l'esprit,

ce qui engage l'inhibition. De plus, lors de la recherche de la solution parmi un ensemble d'options, le participant pourrait ne pas trouver d'item correspondant à la représentation qu'il s'est construite ce pourquoi il doit la réviser et effectuer une nouvelle recherche. Cela fait donc appel à ses capacités de flexibilité mentale. Enfin, la mémoire de travail intervient également dans la nécessité de maintenir le but de la tâche d'analogie.

Par ailleurs, les études de Thibaut et al. (2010 ; 2011) ont démontré que les performances en raisonnement analogique diminuaient avec l'augmentation du nombre de distracteurs (soit avec la quantité d'informations non pertinentes à ignorer), surtout lorsque ces distracteurs étaient sémantiquement reliés à la solution plutôt que perceptivement similaires à celle-ci. Ils ont de plus trouvé une corrélation positive entre performances à un test d'inhibition (le Stroop) et performances en analogie chez les enfants de 4 et 5 ans, mais également une différence d'inhibition d'une source sonore non pertinente entre les enfants les plus jeunes (6-8 ans) et les plus âgés (14 ans). Cet effet d'interférence du nombre de distracteurs est également valable pour les sujets âgés d'après Viskontas et al. (2004) mais aussi chez les jeunes adultes si les participants n'ont pas la possibilité d'ignorer les dimensions non pertinentes avant l'encodage (dans le cas où on ne leur présente les dimensions pertinentes qu'après l'encodage) comme le suggèrent Cho et al. (2007).

D'autre part, des travaux sur le développement des fonctions exécutives effectués par Blaye et Chevalier (2011), Marcovitch et al. (2007) et Towse et al. (2007) avancent que la représentation du but de la tâche puis sa gestion en cours de résolution constituent des aspects déterminants de l'efficacité du contrôle exécutif. Ce rôle de la gestion des buts dans le raisonnement analogique est étayé par l'étude de Chuderska et Chuderski (2009) qui corrèle l'efficacité de gestion et d'application du but du raisonnement analogique et celle de l'inhibition des associations non pertinentes pour le but.

En ce qui concerne la flexibilité, Ripoll (1992) suggère qu'elle peut être requise lors de la construction d'une représentation pertinente de la relation analogique car le traitement de l'information se fait par allers-retours entre situations source et cible et notre première représentation nécessite parfois d'être ajustée voire révisée. Par ailleurs, cette difficulté de révision des représentations se manifeste aussi lors de la résolution d'analogies successives chez les jeunes enfants, d'après Minier et Blaye (2012).

En outre, Thibaut et al. (2011) démontrent qu'une bonne représentation des relations pertinentes (dépendant pour beaucoup de son degré d'explicitation) permet d'exercer un contrôle plus efficace lors de la recherche de la solution et donc d'ignorer plus facilement les distracteurs, quel que soit leur nombre.

Enfin, des études corrélationnelles mentionnées (Thibaut et al., 2011 ; Chuderska et Chuderski, 2009) ont montré que les fonctions d'inhibition, de flexibilité et de mise à jour en mémoire de travail sont toutes positivement corrélées aux performances analogiques.

G) Document 7

Developmental changes in decision making under risk: The role of executive functions and reasoning abilities in 8- to 19-year-old decision makers (Schiebener, García-Arias, García-Villamizar, Cabanyes-Truffino, & Brand, 2015)

Les auteurs de cet article partent du postulat d'études antérieures qui ont montré que les enfants et les adolescents ont souvent tendance à prendre des décisions risquées malgré une connaissance explicite des conséquences négatives potentielles. Il a été suggéré que ce phénomène était associé à l'immaturation des zones cérébrales impliquées dans les fonctions de contrôle cognitif, en particulier les fonctions exécutives et le raisonnement.

Leur étude concerne 112 participants, âgés de 8 à 19 ans, à qui ils ont fait passer la tâche du jeu de dés (GDT) de Brand et al. (2005) pour évaluer la prise de décision sous risque, le Modified Card Sorting Test (MCST) pour évaluer le fonctionnement exécutif (catégorisation, flexibilité cognitive et maintien de la stratégie) ainsi que les matrices progressives de Ravens. Ils ont également fait passer, en plus d'une tâche de prise de décision, des tests neurologiques pour caractériser les relations entre l'âge, les fonctions exécutives, le raisonnement et la prise de décision sous risque chez les enfants, les adolescents et les jeunes adultes.

Les résultats ont montré que la prise de risque dans le TDG diminuait avec l'âge et surtout que cet effet n'était pas modulé par le raisonnement (dont les différences individuelles étaient corrélées au nombre de décisions très risquées mais pas à l'évolution de la prise de décision risquée liée à l'âge) mais par les fonctions exécutives (les jeunes dont le fonctionnement exécutif était faible prenaient des décisions très risquées). En effet, La performance dans le MCST était significativement corrélée à la prise de décision, contrairement à l'intelligence générale et au raisonnement.

H) Document 8

Self-reported strategies in decisions under risk: role of feedback, reasoning abilities, executive functions, short-term-memory, and working memory (Schiebener & Brand, 2015)

Cet article visait à contribuer à une meilleure compréhension du rôle des différentes fonctions cognitives et du feedback (retour d'information) sur les conséquences d'une décision dans l'application et le succès de stratégies décisionnelles. Ils ont tout d'abord illustré la prise de décision sous risque par un modèle (annexe 8).

Dans leur étude, les auteurs ont demandé à 195 participants quelles stratégies ils avaient appliquées dans deux tâches de prise de décision : la tâche du jeu de dés (GDT) vue précédemment ainsi que le Card Guessing Game (CGG) de Stanovich et West (2003). L'objectif principal était de déterminer si les participants déclarant appliquer des stratégies décisionnelles plus ou moins avantageuses dans le GDT et le CGG différaient par des fonctions cognitives de base spécifiques, à savoir le raisonnement logique, les fonctions exécutives, la mémoire à court terme et la mémoire de travail.

Leurs résultats suggèrent qu'il n'est pas nécessaire de disposer de très bonnes fonctions exécutives pour pouvoir intégrer le feedback dans l'adaptation de la stratégie et en bénéficier. Au contraire, il semble que les participants dont les fonctions exécutives étaient relativement peu importantes devaient utiliser le feedback, tandis que ceux dont le niveau de fonctions exécutives était élevé ont déclaré appliquer des stratégies plutôt indépendantes de la rétroaction. Cette étude montre également que les utilisateurs de stratégies avantageuses ou non avantageuses dans deux tâches de décision différentes (le GDT et le CGG) différaient systématiquement dans leurs performances dans une tâche de raisonnement et des tâches de fonctionnement exécutif (formation de concepts, apprentissage de règles, flexibilité, catégorisation et monitoring/contrôle). En revanche, ils ne différaient pas systématiquement en ce qui concerne les tâches de prise de décision, se concentrant sur des processus de mémoire à court terme ou de travail, tels que le stockage d'informations ou la manipulation d'informations stockées. Seulement, lorsque cette manipulation d'informations devient plus complexe (comme dans la tâche de commande de chiffres) ou nécessite en outre des fonctions exécutives (comme dans la tâche à trois), des différences significatives peuvent être observées. Ainsi, le raisonnement et les fonctions exécutives prédisposeraient systématiquement un individu à un choix de stratégie plus ou moins rationnel / avantageux dans des situations à risques objectifs (telles que le GDT et le CGG). La relation entre ces trois concepts a été illustrée par les auteurs (annexe 8). Par ailleurs, ils mentionnent les conclusions des études actuelles qui montrent un rôle

plutôt réduit des aspects de mémoire à court terme et de mémoire de travail, ce qui est logique ici car les décisions relatives à des tâches à risque objectif (telles que le GDT et le CGG) ne sollicitent que peu la mémoire.

I) Document 9

Age-related variance in decisions under ambiguity is explained by changes in reasoning, executive functions, and decision-making under risk (Schiebener & Brand, 2017)

Dans cet article, les auteurs présentent tout d'abord l'état des connaissances sur le sujet, avec entre autres l'étude de Denburg et al. (2007) faite à l'aide de l'Iowa Gambling Task (IGT) qui a montré que la variance liée à l'âge dans une décision d'ambiguïté s'explique par une capacité réduite à produire des biais somatiques émotionnels avant les décisions. Ces marqueurs somatiques étudiés par Bechara et Damasio (2005) sont des réactions émotionnelles, notamment des modifications de l'activation somatique (petites contractions musculaires, production de sueur et modifications viscérales) induites par des boucles limbiques au niveau du cerveau. Cependant, les auteurs avancent qu'il y a au moins deux raisons pour affirmer qu'il y ait également un rôle des fonctions cognitives dans la prise de décision dans l'IGT : premièrement les personnes ayant de bonnes fonctions cognitives peuvent mieux apprendre des récompenses et des punitions et découvrir quels paquets sont les plus rentables ; ensuite, pour les participants qui en ont pris conscience, la situation commence à devenir moins ambiguë et à ressembler à une situation de décision dans des conditions à risque. Or, la performance dans ce type de décision est associée à la mémoire de travail, aux fonctions exécutives et au raisonnement, car il semble utile d'intégrer les informations disponibles, de contrôler les impulsions et de développer, appliquer et surveiller des stratégies à long terme selon Schiebener et Marke (2015).

Afin de démontrer que la réduction de la performance liée à l'âge à l'IGT peut également s'expliquer par la réduction de certaines capacités cognitives (raisonnement, fonctions exécutives) et non seulement par les marqueurs somatiques, les auteurs ont fait passer une tâche d'IGT ainsi qu'une tâche de jeu de dés GDT (qui est associée aux performances en mémoire de travail, au fonctionnement exécutif et aux capacités de raisonnement) à 210 participants âgés de 18 à 86 ans.

Leurs résultats montrent que les réductions des capacités cognitives et de la prise de décision avec un risque explicite sont liées aux effets de l'âge sur l'IGT mais qu'après contrôle des effets des capacités cognitives et de la prise de décision sous risque (GDT), il n'y a plus de variance liée à l'âge dans la prise de décision au sein de l'IGT.

Ainsi, il semble que les changements dans les performances de l'IGT au cours de la vie adulte soient étroitement associés au déclin des capacités cognitives (mesurées ici par des tâches liées aux fonctions exécutives et au raisonnement). Les auteurs suggèrent que la réduction des fonctions cognitives chez les personnes âgées peut être associée à la fois à une capacité réduite à comprendre explicitement les règles de la situation de décision ambiguë et à une incapacité à choisir les options les moins risquées, par conséquent, une fois que les règles ont été explicitement comprises.

J) Document 10

One executive function never comes alone: monitoring and its relation to working memory, reasoning, and different executive functions (Gathmann, Brand, & Schiebener, 2017)

Cet article aborde les relations entre ce que les auteurs décrivent comme les différentes fonctions exécutives : ce qu'ils appellent le « monitoring » (capacité à contrôler l'exécution et le résultat de son action), le raisonnement ainsi que la mémoire de travail. Les auteurs se sont intéressés à la nature cognitive du monitoring qu'ils ont étudiée dans le but de déterminer dans quelle mesure la variance des capacités de monitoring est prédite par la variance des différentes fonctions cognitives. Ils ont schématisé la relation supposée entre la formation de concepts, le raisonnement, la mémoire de travail et le contrôle cognitif général par différents modèles (annexe 10).

Pour leur étude, ils ont fait passer le Balance Switching Task (BST) afin de mesurer les habiletés de monitoring de 699 participants (par le biais de 3 tâches d'évaluation d'items : nombres pairs ou impairs, nombres plus petit ou plus grand que 50 et hachurage de formes allant vers la gauche ou la droite) ainsi que des tâches supplémentaires mesurant les différentes sous-fonctions cognitives à différents échantillons de ces participants : le MCST pour mesurer la formation de concepts, le LPS4 pour le raisonnement, l'Adaptive Digit Ordering Test (DOT-A) pour la mémoire de travail ainsi que deux tests d'inhibition (le Color Word Interference Test (CWIT) et le test du Go/No Go) et un mesurant la flexibilité (le TMT B) pour évaluer le contrôle cognitif général.

Leurs résultats démontrent effectivement que plusieurs processus de composants cognitifs (le raisonnement, la formation de concepts, la mémoire de travail et le contrôle cognitif général), semblent être liés au monitoring. Par ailleurs, les résultats du modèle A induisent que la formation de concepts et le raisonnement sont directement liés au monitoring. Mais lorsqu'on inclut la mémoire de travail dans le modèle, la formation de concept et le raisonnement ne sont plus liés de manière significative au monitoring et seule

la mémoire de travail explique une partie de la variance de monitoring (modèle B). Cela suggère que les processus de la mémoire de travail, tels que la maintenance et la mise à jour des informations, sont plus étroitement liés au monitoring. Cependant, l'ajout du contrôle cognitif général montre la relation la plus flagrante avec le monitoring. Les auteurs ont également testé un modèle supposant un contrôle cognitif général comme médiateur de la relation entre la mémoire de travail, le raisonnement et le monitoring (modèle C). L'effet de médiation était significatif et suggère que la mémoire de travail et le raisonnement sont directement liés au contrôle cognitif général, lui-même associé aux capacités de monitoring mesurées par la BST. Globalement, ces résultats démontrent que la surveillance n'est pas un processus isolé et indiquent en outre que les fonctions représentées par le contrôle cognitif général à dimension latente semblent particulièrement importantes pour le monitoring.

V – Discussion

A) Synthèse des résultats

Le premier document nous confirme qu'il y a bien une corrélation entre fonctions exécutives et raisonnement fluide et soulève un élément commun mesuré par les deux concepts mais ne précise pas un éventuel lien de causalité entre les deux. Ainsi, nous ne pouvons déterminer ici si l'un entraîne l'autre et/ou vice versa (modèle B) ou s'il s'agit en fait d'un seul et même facteur (modèle C).

Le second document nous renseigne sur le rôle médiateur des fonctions exécutives entre l'âge et les performances à des problèmes multiplicatifs à une ou deux étapes (qui nécessitent un type de raisonnement ici appelé raisonnement multiplicatif, que nous pouvons associer au raisonnement analogique). En effet, si l'âge peut directement prédire les performances à ces problèmes, l'effet est majoré en tenant compte des capacités d'inhibition et d'attention, elles-mêmes influençant la mise à jour (en plus du changement, assimilé à la flexibilité) qui prédit également ces performances. Cela s'explique par le fait que le développement des fonctions exécutives s'accompagne d'une plus grande efficacité du contrôle cognitif qui se répercute sur d'autres habiletés cognitives comme le raisonnement ou le calcul.

Les résultats de la troisième étude suggèrent que les fonctions exécutives sont plus étroitement liées à la mémoire de travail (à court terme) qu'à la mémoire épisodique (à long terme). Cela nous semble logique car selon le modèle que nous avons choisi, la mémoire de travail fait partie intégrante des fonctions exécutives. Il semble également exister une relation plus faible entre l'interprétation de proverbe et la mémoire épisodique qu'avec les autres fonctions exécutives. On peut expliquer ce résultat par le fait que les régions du cerveau recrutées dans les tâches de mémoire épisodique (surtout les lobes temporaux médiaux) diffèrent de celles recrutées pour les tâches de fonctions exécutives (cortex pré-frontal). La capacité de raisonnement abstrait (évaluée par le test de proverbes ainsi que par la fluidité verbale) est un aspect des fonctions exécutives pris en charge par le lobe frontal ; une corrélation entre ces compétences est donc à prévoir, ce qui va dans le sens de notre modèle également.

Dans le quatrième document sont réunies deux approches concernant le développement de la capacité à raisonner par analogie : d'une part l'idée que celui-ci dépendrait de l'accroissement des connaissances comme l'ont démontré Gentner puis Goswami et d'autre part l'idée qu'il dépendrait surtout de la maturation du cerveau de l'enfant qui serait au départ limité dans sa mémoire de travail d'après Halford (1993), son

contrôle inhibiteur selon Richland et al. (2006) et sa flexibilité cognitive d'après Jacques et Zelazo (2005). Ici, seule l'inhibition a été étudiée mais son rôle dans le développement du raisonnement par analogie a bien été confirmé : faire une analogie implique l'évaluation de plusieurs solutions potentielles qui sont choisies à la base de leur niveau d'activation. Celles qui ne sont pas pertinentes se retrouvent par la suite inhibées, d'où le rôle majeur des fonctions exécutives dans le développement de la compréhension des analogies.

Le cinquième document nous informe sur le fait que le raisonnement par analogie dépend au moins partiellement des fonctions exécutives (en ce qui concerne la flexibilité et l'inhibition) et de la capacité à maintenir le but de la tâche, que ce soit chez l'adulte ou chez l'enfant. Il y aurait ainsi une relation causale entre les fonctions exécutives qui influeraient sur le raisonnement.

Les travaux du sixième document ont démontré le rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement analogique chez l'enfant et ont souligné l'importance des représentations (et du langage) dans la mise en œuvre d'un contrôle efficace. On retrouve l'idée qu'un contrôle inhibiteur peu efficace est à l'origine d'une mauvaise performance en raisonnement analogique. C'est l'interaction entre les connaissances et le contrôle exécutif (et les allers-retours entre les deux) qui sous-tend le raisonnement analogique. Cette interaction se manifeste par le rôle des aspects exécutifs dans l'élaboration de la représentation de la source ainsi que par la modulation du contrôle requis pour la résolution selon la qualité de la représentation de la source et de la cible. Ainsi, le transfert analogique sera d'autant mieux effectué que les structures relationnelles sont clairement représentées. Cette revue souligne également la difficulté des enfants à se décentrer d'une relation précédemment pertinente pour en envisager une nouvelle et pointent la nécessité d'un contrôle flexible pour la résolution des analogies.

Le septième document nous apporte un éclairage sur une différence de processus entre raisonnement et fonctions exécutives (ici catégorisation, flexibilité mentale et maintien de la stratégie) : en effet, si les performances en fonctions exécutives étaient corrélées à la prise de décision sous risque, ce n'était pas le cas du raisonnement.

Le document huit aboutit à la conclusion selon laquelle l'élaboration et l'application de stratégies de prise de décision plus avantageuses sont associées à de meilleures fonctions cognitives mais que ce lien existe en particulier pour des fonctions cognitives spécifiques, surtout le raisonnement. On relève donc ici de nouveau l'indépendance entre raisonnement et fonctions exécutives.

Dans le document neuf sont associés fonctions exécutives et raisonnement pour expliquer le déclin des capacités des personnes âgées.

Le dernier document est la première étude à réellement démontrer que mémoire de travail et raisonnement sont directement liés au monitoring. Cependant, ces relations disparaissent quand on inclut une fonction de contrôle cognitif général (que les auteurs assimilent aux capacités de contrôle inhibiteur et de flexibilité, mesurées ici par le CWIT, le test du Go/No Go ainsi que le TMT B) en tant que médiateur, ce qui suggère que la mémoire de travail et le raisonnement sont des fonctions de base impliquées dans le contrôle cognitif général, lequel est étroitement lié au monitoring (mesuré ici par le BST). Par ailleurs, comme les trois tâches utilisées pour modéliser le contrôle cognitif général sont souvent affectées à la mesure des capacités de base d'inhibition et de flexibilité, ces deux fonctions doivent également être considérées comme des facteurs importants du suivi des performances. En outre, une bonne performance de monitoring peut impliquer de la flexibilité, car celle-ci permet de travailler sur plusieurs tâches de manière systématique. Les résultats impliquent également que d'autres processus de composants cognitifs pourraient prendre en charge le contrôle cognitif général : mise à jour des informations et conclusion des informations relatives aux règles de tâche, selon lesquelles les stratégies peuvent guider le comportement vers un objectif prédéfini (le raisonnement). D'autre part, les processus de contrôle cognitif semblent médier la relation entre d'autres processus cognitifs tels que la mémoire de travail, le raisonnement et le monitoring. Ainsi, la formation de cette fonction exécutive de niveau supérieur pourrait conduire à une amélioration cognitive, en influençant d'autres fonctions cognitives. Ainsi, les résultats de cette étude appuient l'idée de relations entre plusieurs processus cognitifs (le raisonnement, la formation de concepts, la mémoire de travail et le contrôle cognitif général) et le monitoring : en effet, il apparaît que le contrôle cognitif général intervient dans la relation entre la mémoire de travail, le raisonnement et le monitoring (modèle C). Ainsi, des capacités de monitoring supérieures peuvent nécessiter des capacités cognitives générales basées sur des processus de mémoire de travail et de raisonnement. Cette étude sous-entendrait que les fonctions exécutives de niveau supérieures sont basées sur les fonctions exécutives de bas niveau, elles-mêmes basées sur des fonctions fondamentales.

B) Liens avec les hypothèses

Sans surprise, la corrélation entre raisonnement et fonctions exécutives au sens large est avérée, comme le stipulait notre postulat de base. Les fonctions exécutives auraient ainsi un rôle médiateur entre l'âge et le raisonnement. Le septième document apporte des précisions au premier : raisonnement et fonctions exécutives ne correspondraient pas à un seul et même facteur mais à des processus différents, ce qui irait dans le sens d'un modèle à deux facteurs corrélés (annexe 5).

Le document trois avance que mémoire de travail et raisonnement étant tous deux pris en charge par le cortex préfrontal, une corrélation entre ces compétences est donc à prévoir. Le dixième document avance également l'idée d'une corrélation entre ces deux concepts qui seraient tous deux des fonctions de base liés au monitoring. De plus, le document quatre part du principe que l'enfant aurait des difficultés de raisonnement dues entre autres à sa limitation en mémoire de travail. Cela valide donc notre première hypothèse, à savoir que les performances en mémoire de travail sont corrélées au raisonnement. Nous pouvons même avancer aux vues du quatrième document qu'il y aurait un lien de causalité entre mémoire de travail et raisonnement puisque de faibles performances dans la première induiraient de faibles performances dans la seconde.

Dans le document deux, les auteurs ont démontré que les capacités d'inhibition contribuaient à prévoir les performances en raisonnement. De plus, dans le document quatre, le rôle dans le développement du raisonnement par analogie a été confirmé, tout comme dans le cinquième document qui précise que le raisonnement par analogie dépend en partie de l'inhibition, chez l'adulte comme chez l'enfant. En outre, le document dix ajoute que l'inhibition est également à prendre en compte dans le lien entre raisonnement et contrôle cognitif général. Ainsi, notre seconde hypothèse qui supposait que les performances en inhibition sont corrélées au raisonnement est également validée.

Si dans le document deux le changement (ou flexibilité) n'est pas directement relié au raisonnement (par le biais des problèmes multiplicatifs), le document quatre mentionne une étude dans laquelle l'enfant, qui est au départ limité dans sa flexibilité cognitive, serait donc également limité dans ses capacités de raisonnement. D'autre part, le cinquième document ajoute que le raisonnement par analogie dépend aussi en partie de la flexibilité cognitive. De plus, le dixième document précise que la flexibilité est également à prendre en compte dans le lien entre raisonnement et contrôle cognitif général. Cela valide aussi notre troisième hypothèse qui était que les performances en flexibilité sont corrélées au raisonnement.

Nous pouvons donc d'après cette revue émettre l'hypothèse que le lien entre fonctions exécutives et raisonnement serait causal, comme avancé dans le cinquième document, puisque nous n'avons pas trouvé d'étude où les performances dans les fonctions exécutives n'étaient pas en lien avec les performances en raisonnement. Ainsi, de faibles performances en fonctions exécutives induiraient de faibles performances en raisonnement.

C) Qualité et validité

Les articles trouvés ont été recherchés dans des bases de données scientifiques plus ou moins fiables. En effet, si PubMed ou EM Premium ont une bonne validité scientifique, cela dépend des documents pour les autres bases de données comme le SUDOC qui répertorient aussi bien des articles scientifiques que des mémoires. Ainsi, on peut se poser la question de la validité des documents 4 et 5 qui sont des thèses.

Par ailleurs, les bonnes bases de données ne garantissent pas non plus la qualité des articles puisque le document 1 qui provient de PubMed semble manquer de rigueur sur sa présentation.

Ainsi, nous aurions pu éliminer de notre revue ces trois documents mais ceux-ci semblaient tout de même satisfaisants après lecture complète, surtout que leurs résultats vont dans le même sens que ceux des autres documents, ce qui est cohérent. Nous avons donc choisi de les conserver, tout en ayant à l'esprit que leurs résultats peuvent être à modérer.

Quant aux autres documents, ils nous ont semblé valides du point de vue de la grille d'analyse d'articles effectuée.

D) Concordance / discordance avec d'autres travaux

Nos résultats vont non seulement dans le sens de notre modèle de départ (Diamond, 2013) mais également des études mentionnées dans le document quatre, à savoir que mémoire de travail, inhibition et flexibilité sont toutes les trois impliquées dans le raisonnement (travaux de Halford (1993) pour la mémoire de travail, de Richland et al. (2006) pour le contrôle inhibiteur et de Jacques et Zelazo (2005) pour la flexibilité cognitive). On peut également ajouter à ces études des travaux effectués sur l'inhibition (Houdé, 2014a). En effet, le modèle d'Houdé valide le fait que le système algorithmique ne peut se mettre en place que si le système inhibiteur est suffisamment mature.

Une issue clinique pourrait donc être qu'un travail sur ces fonctions exécutives de bas niveau pourrait permettre une rééducation d'un trouble du raisonnement. Cependant, on peut relever d'un point de vue qualitatif les résultats d'une étude effectuée dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie (Labie, 2012) qui ont démontré que si l'entraînement des fonctions exécutives permet de développer les performances en mathématiques, ce n'est pas vraiment le cas pour les compétences logico-mathématiques (donc de raisonnement) qui ont peu progressé à la suite de cet entraînement. Mais les résultats d'une autre étude réalisée également dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie ont par ailleurs affirmé

l'efficacité de l'entraînement de l'inhibition sur la progression du raisonnement logique (Gaulard, 2014). Dans les deux cas, les biais liés à leurs études (la taille de leurs échantillons notamment) étaient trop importants pour pouvoir généraliser ces résultats, mais cela nous questionne sur l'illustration du lien entre fonctions exécutives et raisonnement en pratique orthophonique.

Diverses hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces discordances. La première est qu'il existe plusieurs types de raisonnement, qui ne sont peut-être pas tous influencés de la même manière par les fonctions exécutives (ou par différentes fonctions exécutives). La seconde est bien relevée par le document sept qui avance l'idée de processus différents entre raisonnement et fonctions exécutives. Ainsi, même si les fonctions exécutives contribuent au raisonnement, leurs différences de fonctionnements ne permettraient pas de généraliser un entraînement de l'un sur l'autre.

VI – Conclusion

D'après la synthèse des recherches effectuées pour cette revue de la littérature, la mémoire de travail, l'inhibition ainsi que la flexibilité mentale seraient bien toutes les trois corrélées au raisonnement. De plus, nous n'avons pas trouvé de recherches montrant qu'une atteinte de l'inhibition, de la mémoire de travail ou de la flexibilité n'altère pas nécessairement le raisonnement. Nous pouvons donc même aller plus loin dans notre analyse de ce lien car les études semblent converger vers l'idée qu'il existerait un lien de causalité entre fonctions exécutives (de bas niveau) et raisonnement.

Cependant, il reste des questionnements concernant la mise en pratique orthophonique de ces informations. Il pourrait donc être intéressant d'effectuer des recherches fonction exécutive par fonction exécutive afin de potentiellement relever également les études ne s'étant penchées que sur une seule fonction exécutive à la fois (sans avoir mentionné le terme de « fonctions exécutives » en mot clé), en rapport avec le raisonnement. Par ailleurs, le fait d'employer un filtre plus large (comme « Title / abstract » sur Pubmed) pourrait éventuellement permettre de trouver des articles qui seraient passés à travers les mailles du filet si le filtre « Title » restreignait trop. Enfin, nous aurions également pu effectuer une analyse des performances des fonctions exécutives chez des patients présentant un trouble du raisonnement mais la littérature ne semble pas assez fournie à ce sujet.

Il existe dans tous les cas peu d'études sur le sujet ; une prolongation possible pourrait donc être de reprendre les études précédemment effectuées dans les deux mémoires d'orthophonie cités plus haut et de démontrer si le travail des fonctions exécutives permettrait une meilleure prise en charge du trouble du raisonnement ou si d'autres variables seraient en cause entre ces deux concepts. Cela pourrait être fait par le biais d'une étude ou encore par auto-évaluation avec l'emploi de lignes de bases par le professionnel.

Références bibliographiques

- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105(4), 286-305. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.09.006>
- American psychiatric association. (2015). *DSM-5®: manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e édition; M.-A. T. Crocq & J.-D. T. Guelfi, Éd.; P. Boyer, C.-B. Pull, & M.-C. Pull-Erpelding, Trad.). Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier Masson.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1), 7-15. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
- Brin, F. (2014). *Dictionnaire d'orthophonie*. Isbergues: Ortho éd.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental neuropsychology*, 19, 273-293. https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3
- Case, R. (1992). The role of the frontal lobes in the regulation of cognitive development. *Brain and Cognition*, 20(1), 51-73. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90061-P](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90061-P)
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool Executive Functioning Abilities Predict Early Mathematics Achievement. *Developmental Psychology*, 46(5), 1176-1191. <https://doi.org/10.1037/a0019672>
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264(5162), 1102-1105. <https://doi.org/10.1126/science.8178168>

- Decker, S. L., Hill, S. K., & Dean, R. S. (2007). Evidence of construct similarity in Executive Functions and Fluid Reasoning abilities. *The International Journal of Neuroscience*, 117(6), 735-748. <https://doi.org/10.1080/00207450600910085>
- Diamond, A. (2004). De l'intention à l'action : le cortex préfrontal et le développement cognitif précoce. In M.-N. Metz-Lutz, E. Demont, & C. Seegmuller, *Développement cognitif et troubles des apprentissages: évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille: SOLAL.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Eslinger, P., & Damasio, A. (1986). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: Patient EVR: *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 1(3), 75. <https://doi.org/10.1097/00001199-198609000-00012>
- Ferrand, N., & Oliva, F. (2011). *Les fonctions exécutives : De la théorie aux pratiques orthophoniques* (Mémoire d'orthophonie). Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Fourneret, P., & Des Portes, V. (2017). Approche développementale des fonctions exécutives : du bébé à l'adolescence. *Archives de pédiatrie*, 24(1), 66-72.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice*. New York, NY, US: Basic Books.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gathmann, B., Brand, M., & Schiebener, J. (2017). One executive function never comes alone: monitoring and its relation to working memory, reasoning, and different executive functions. *Cognitive Processing*, 18(1), 13-29. <https://doi.org/10.1007/s10339-016-0773-6>
- Gaulard, L. (2014). *Implication des fonctions exécutives dans le raisonnement logico-mathématique* (Mémoire d'orthophonie). Université de Poitiers, Poitiers.

- Glady, Y. (2013). *Raisonnement par analogie et son développement: rôle des fonctions exécutives et du but de la tâche* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne, France.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitif. *Revue Neurologique*, 164, S119-S127. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73302-2](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73302-2)
- Houdé, O. (2014a). *Apprendre à résister*. Paris: Ed. Le Pommier.
- Houdé, O. (2014b). *Le raisonnement*. Paris: Presses universitaires de France.
- Houdé, O., Meljac, C., & Baillargeon, R. (Éd.). (2000). *L'esprit piagétien: hommage international à Jean Piaget*. Paris: Presses universitaires de France.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent: essai sur la construction des structures opératoires formelles*. Paris, France: Presses Universitaires de France.
- Kahneman, D. (2012). *Système 1 / Système 2: Les deux vitesses de la pensée*. Paris: Flammarion.
- Koechlin, E., & Hyafil, A. (2007). Anterior Prefrontal Function and the Limits of Human Decision-Making. *Science*, 318(5850), 594-598. <https://doi.org/10.1126/science.1142995>
- Labie, M. (2012). *Impact d'une remédiation cognitive sur les troubles du raisonnement logico-mathématique* (Mémoire d'orthophonie). Université Victor Segalen, Bordeaux.
- Luria, A. R., Teuber, H. L., & Pribram, K. H. (1966). *Higher cortical functions in man* (B. Haigh, Trad.). New York, NY, US: Basic Books.
- Mazeau, M., & Pouhet, A. (2014). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant: du développement typique aux « dys- »* (2e édition). Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier-Masson.

- Minier, L., Blaye, A., Maugard, A., Fagot, J., Glady, Y., & Thibaut, J.-P. (2014). Rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement par analogie chez l'enfant et le primate non humain. *Psychologie française*, *59*(1), 71-87.
- 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. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. Davidson, R. Schwartz, & D. Shapiro, *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory: Vol. IV*. New York, NY, US: Plenum Press.
- Piaget, J. (2001). *La psychologie de l'intelligence*. Paris, France: Pocket.
- Pradat-Diehl, P., Azouvi, P., & Brun, V. (2006). *Fonctions exécutives et rééducation*. Paris: Masson. Base documentaire BDSP - Banque de données en santé publique (BDSP/FNG : 19641, FN8189 SHP131 PRA).
- Roy, A., Gall, D. L., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant: approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de neuropsychologie*, *Volume 4*(4), 287-297.
- Schiebener, J., & Brand, M. (2015). Self-reported strategies in decisions under risk: role of feedback, reasoning abilities, executive functions, short-term-memory, and working memory. *Cognitive Processing*, *16*(4), 401-416. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0665-1>
- Schiebener, J., García-Arias, M., García-Villamizar, D., Cabanyes-Truffino, J., & Brand, M. (2015). Developmental changes in decision making under risk: The role of executive functions and reasoning abilities in 8- to 19-year-old decision makers. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *21*(6), 759-778. <https://doi.org/10.1080/09297049.2014.934216>

Schneider, W., Lockl, K., & Fernandez, O. (2014). Interrelationships among theory of mind, executive control, language development, and working memory in young children: A longitudinal analysis. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler, & B. Sodian, *Young Children's Cognitive Development: Interrelationships Among Executive Functioning, Working Memory, Verbal Ability, and Theory of Mind*. Psychology Press.

Vezneva, M. (2011). *Développement du raisonnement analogique: rôle de la composante exécutive d'inhibition* (Thèse de doctorat). Université de Bourgogne, France.

Wachholz, T. B. de O., & Yassuda, M. S. (2011). The interpretation of proverbs by elderly with high, medium and low educational level: Abstract reasoning as an aspect of executive functions. *Dementia & Neuropsychologia*, 5(1), 31-37.
<https://doi.org/10.1590/S1980-57642011DN05010006>

Annexes

Annexe 1 :

Description of EF Tasks Given to Preschool Children

Task	Description	Age range
Simple working memory tasks: Holding information in mind over delay		
Delayed response	An object is hidden at one of two (or more) locations, and after delay child must find object. DV: number of correct responses; delay tolerated	5 months and up
Digit/word Span	Child is asked to repeat a list of digits or words. DV: longest sequence repeated correctly	3 years and up
Corsi block span	E taps nine wooden blocks in a pattern, and child is asked to repeat sequence. DV: longest sequence repeated correctly	3 years and up
Complex working memory tasks: Holding in mind and updating/manipulating information		
Stationary pots	Objects are hidden under pots. Children must uncover each pot and avoid going back to one that has already been uncovered. DV: mean number of reaches to open all boxes; mean number of consecutive reaches to same position	15 months and up
Spinning pots	Same as stationary pots except pots are spun after every choice. DV: mean number of reaches to open all boxes; mean number of consecutive reaches to same position	15 months and up
Self-ordered pointing	Children are shown two pictures on a sheet and asked to select one. Then they are shown another sheet with the same two pictures in a different order and asked to select one they did not choose yet. The number of pictures increases until children make two consecutive errors. DV: highest number of pictures on which they succeed	3 years and up
Invisible displacement	A toy is hidden under a small container. The container is moved under one of two larger containers, and the object is left inside. Child is then shown the empty small container. After a delay, the child searches for the object. DV: number correct	15 months and up
Backward digit span	Child is asked to repeat lists of digits or words backward. DV: longest sequence repeated correctly	3 years and up
Backward Corsi span	Same as Corsi except child taps the sequence backward. DV: longest sequence repeated correctly	3 years and up
Simple response inhibition: Withholding/delay of prepotent or automatic response		
Don't paradigm	Child is asked to inhibit a prepotent response. DV: percentage of time child inhibits behavior	8 months and up
Delay of gratification: waiting	Child waits for a larger treat or rings bell for a smaller treat immediately. DV: duration child is able to delay	2 years and up
Delay of gratification: choice	Child chooses between larger, delayed reward and smaller, immediate reward. DV: number of choices to delay	3 years and up
Snack delay	Child must delay the urge to eat a treat until E rings a bell (trials of different durations). DV: number of trials child is able to delay; longest duration child is able to delay	22 months and up
Gift delay (bow)	Child is asked to wait until E returns with a bow (3 min). DV: peeking (failure)	22 months and up
Gift delay (wrap)	Child is asked not to look while E wraps a present noisily (60 s). DV: peeking (failure)	22 months and up
Object retrieval	An object is placed in a transparent box. The opening is located where children cannot reach directly and must detour to get reward. DV: number of successful reaches	6 months and up
Antisaccade	Child is rewarded for producing a saccade to the side contralateral to cue. DV: number of times child inhibits saccade to cue; number of times child produces saccade to contralateral side	4 months and up
Complex response inhibition: Holding a rule in mind, responding according to this rule, and inhibiting a prepotent response		
Bear and dragon	Child must do what bear asks and inhibit doing what dragon asks. DV: number of trials child does not move in response to dragon	3 years and up
Tower	Child must take turns with E when building a tower. DV: proportion of blocks placed by E	22 months and up
Simon says	Similar to bear and dragon. Child does action only when preceded by "Simon says." DV: same as bear and dragon	4 years and up
Shape Stroop	Children are shown pictures of small fruit embedded in larger fruit. When asked to point to a fruit, they must point to small rather than large fruit. DV: number of correct responses	22 months and up
Reverse categorization	Children sort big blocks into big bucket and little blocks into little bucket, then reverse in the "silly" game. DV: number of correct responses	24 months and up
Baby Stroop	After matching small cups and spoons and large cups and spoons, child plays topsy-turvy game: Child matches small "baby" spoon to big cup and "mommy" spoon to small cup. DV: number of correct matches	2 years and up
Grass-snow	Child must point to white when E says "grass" and to green when E says "snow." DV: number of correct points	3 years and up
Day-night	Child must respond "night" to picture of sun and "day" to picture of moon. DV: number of correct responses	3 years and up
Spatial conflict	Target appears on left or right of computer screen, and child presses key with picture of target. Conflict occurs when picture appears on side contralateral to corresponding key. DV: number of correct incompatible vs. compatible trials; reaction time difference on compatible vs. incompatible trials	2 years and up

Task	Description	Age range
Complex response inhibition: Holding a rule in mind, responding according to this rule, and inhibiting a prepotent response (<i>continued</i>)		
Less is more	Child is asked to choose between smaller and larger trays of candy. Child receives tray not pointed to. DV: number of smaller tray selections	3 years and up
Hand game	After imitating E for six correct trials (fist or pointed finger), child must make a gesture opposite the one made by E. DV: number of correct trials	3 years and up
Knock-tap	Anti-imitation game similar to hand game. Child must knock when E taps and tap when E knocks on table. DV: number of correct trials	3 years and up
Detour-reaching box	If yellow light is on, child turns knob to get reward. If green light is on, child must detour and turn the switch down to get reward. DV: number of correct detour sequences	3 years and up
Response shifting: Forming an arbitrary S-R set in the first phase and shifting to a new S-R set in the second phase		
Spatial reversal	While concealed behind a screen, a reward is placed under one of two identical cups. Once reward has been successfully retrieved for a certain number of consecutive trials, side of hiding is reversed. DV: number of trials needed to learn reversal	23 months and up
Object reversal task	Same as spatial reversal except cups differ in color or shape (side counterbalanced) and reversal is based on identity. DV: number of trials needed to learn reversal	23 months and up
A-not-B	In sight of child, a reward is hidden at Location A, and child retrieves reward after a delay. Once child has successfully retrieved object for a number of consecutive trials, object is hidden at Location B. DV: number of correct trials on B; number of errors before success on B; longest delay before fail	6 months and up
Multilocation search	Variation on A-not-B. An object is hidden at one of three locations. After three consecutive correct responses, object is visibly switched to another hiding place and a 10-s delay imposed. DV: number of correct responses after switch; number of perseverative responses	24 months and up
Attention shifting: Similar to response shifting except the first mental set involves attention to one aspect of the stimuli (e.g., dimension such as color with response) and the shifting phase involves shifting attention to a new aspect of the stimuli		
DCCS	Child is shown cards depicting colored shapes that can be sorted according to color or shape. Child must sort according to one dimension and then shift to sort according to the other dimension. DV: number of correct responses on the postswitch phase	3 years and up
Teddy bear task	Similar to DCCS except child is not explicitly told rule but must deduce it from feedback. Postswitch phase differs in that all values change (but retain same dimensions). DV: number of correct responses within 20 trials	3 years and up

Note. EF = executive function; DV = dependent variable; E = experimenter; S-R = stimulus-response; DCCS = dimension change card sort.

Annexe 2 : Tableau PICOS type

Articles	P	I	C	O	S	Qualité scientifique

Annexe 3 : Tableau de sélection articles

Mots clés	Type de filtre	Base de données	Articles trouvés	Articles relevés	Titre	Auteurs	Année	Intérêt/PICO	Utilité
Fonctions exécutives ET raisonnement	Tous les mots	SUDOC	12	5	FEX : les fonctions exécutives chez l'enfant	Cornu-Leyrit, Annie	2018	Non	Non
					Connaissances et contrôle exécutif : Implication dans la cognition et facteurs de	Gombart, Samantha	2015	Non	Non
					Implication des fonctions exécutives dans le raisonnement logico-mathématique	Gaulard, Léa	2014		Oui
					Raisonnement par analogie et son développement : rôle des fonctions	Glady, Yannick	2013	Oui	
					Impact d'une remédiation cognitive sur les troubles du raisonnement logico-	Mailis Labie	2012		Oui
Développement du raisonnement analogique : rôle de la composante	Milena Vezneva	2011	Oui						
fonctions exécutives raisonnement		BDSP	4	2	Fonctions exécutives et rééducation.	Pradat-Diehl, P Azouvi, P Brun, V	2006	Non	
					Approche développementale des fonctions exécutives : du bébé à l'adolescence.	P. Fourneret V. des Portes	2016	Non	
+raisonnement +"fonctions"	Titre / mots clés / résumé	EM Premium	16	1	Organisation fonctionnelle des lobes frontaux	R. Levy	2013	Non	
+reasoning +"executive functions"	Titre / mots clés / résumé		8	1	Rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement par analogie chez l'enfant et le primate non humain	L. Minier, A. Blaye, A. Maugard, J. Fagot, Y. Glady, J.-P. Thibaut	2013	Oui	
executive functions AND reasoning	Title/abstract	PubMed	283						
executive functions AND reasoning	Title		9	8	One executive function never comes alone: monitoring and its relation to working memory, reasoning, and different executive	Gathmann B Brand M Schiebener J.	2017		Oui
			Age-related variance in decisions under ambiguity is explained by changes in reasoning, executive functions, and	Schiebener J Brand M	2017		Oui		
			Self-reported strategies in decisions under risk: role of feedback, reasoning abilities, executive	Schiebener J Brand M.	2015		Oui		
			Developmental changes in decision making under risk: The role of executive functions and reasoning abilities in 8- to 19-year-old decision makers.	Schiebener J, Garcia-Arias M, Garcia-Villamizar D, Cabanyes-Truffino J,	2015		Oui		
			The interpretation of proverbs by elderly with high, medium and low educational level: Abstract reasoning as an aspect	Wachholz TBO, Yassuda MS.	2011		Oui		
			Executive functions underlying multiplicative reasoning: problem type	Agostino A, Johnson J, Pascual-Leone J.	2010		Oui		
			Evidence of construct similarity in Executive Functions and Fluid Reasoning abilities.	Decker SL, Hill SK, Dean RS.	2007		Oui		
			The neurophysiological basis of learning, Part 2: Concept	Boss BJ.	1994	Non			

Annexe 4 : Grille d'analyse d'article type

A. Etapes préliminaires (avant de lire l'article)

1. Objectifs poursuivis par la lecture de cet article (questions auxquelles répondre, controverses à élucider, connaissances spécifiques à acquérir)

2. Survol initial :

- type d'étude
- titre
- mots clés importants

3. Préparation (définitions de notions à envisager, traductions à effectuer)
4. Résumé convaincant : OUI / NON

B. Overview critique
1. Les 4 coins de la page de titre : <ul style="list-style-type: none"> - nom du journal (renommée ?) - date de parution (récent ? article fondateur ?) - auteurs : noms, qualifications (experts ?) - conflits d'intérêts rapportés ?
2. a) Résumé : clair ? pas de généralisation à outrance ? b) Figures / tableaux : compréhensibles ? choix des graphiques pertinent ? pertinence des statistiques utilisées ?
3. Points importants : <ul style="list-style-type: none"> - informations pertinentes : listing des faits saillants de l'étude - notes particulières et avertissements (bémols)
4. Nécessité d'aller plus loin : OUI / NON

C. Analyse critique
1. Buts de l'étude
2. Introduction : <ul style="list-style-type: none"> - travaux passés (quand / qui / quoi ?) - modèles, hypothèses
3. Méthode : <ul style="list-style-type: none"> - population étudiée (population contrôle ?) - ce qui a été fait (quoi / où / comment ?)
4. Résultats : listing de ce qui a été obtenu
5. Discussion : <ul style="list-style-type: none"> - acceptation / rejet des hypothèses de départ - interprétation des résultats en regard des données de la littérature
6. Conclusion de l'étude

D. Appréciation personnelle
Apport de cet article en regard des attentes initiales, des connaissances Pertinence clinique ?

Points forts de l'étude

Faiblesses de l'étude

Annexe 5 : 3 modèles théoriques caractérisant les liens entre fonctions exécutives et raisonnement fluide (Decker et al., 2007)

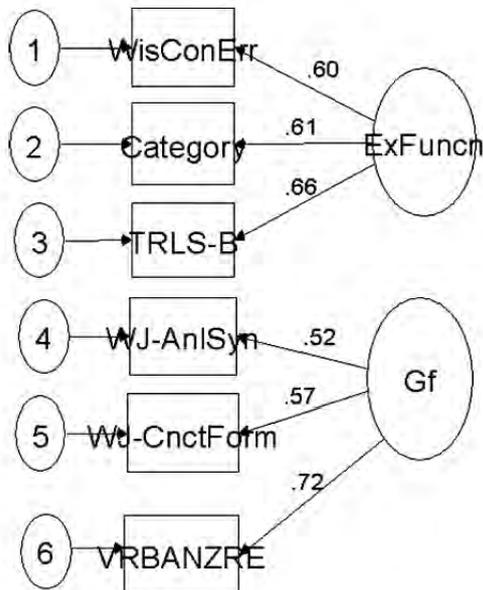


Figure 1. Two-factor Uncorrelated Model.

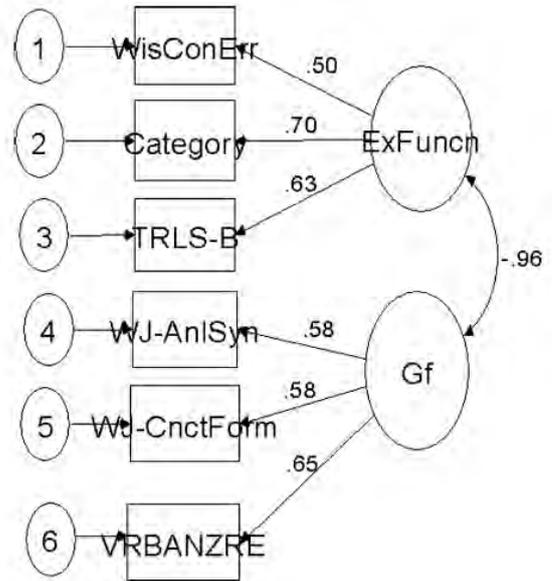


Figure 2. Two-factor correlated model.

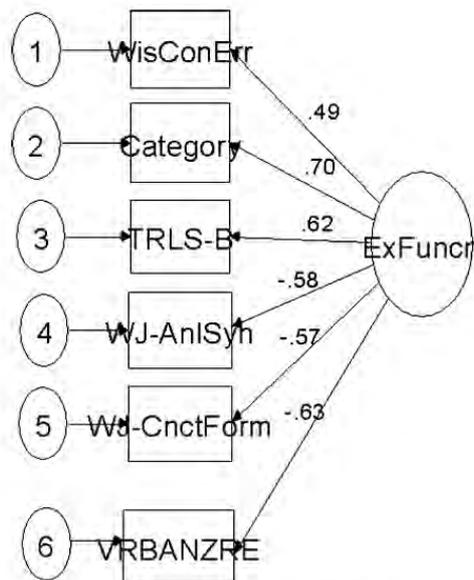
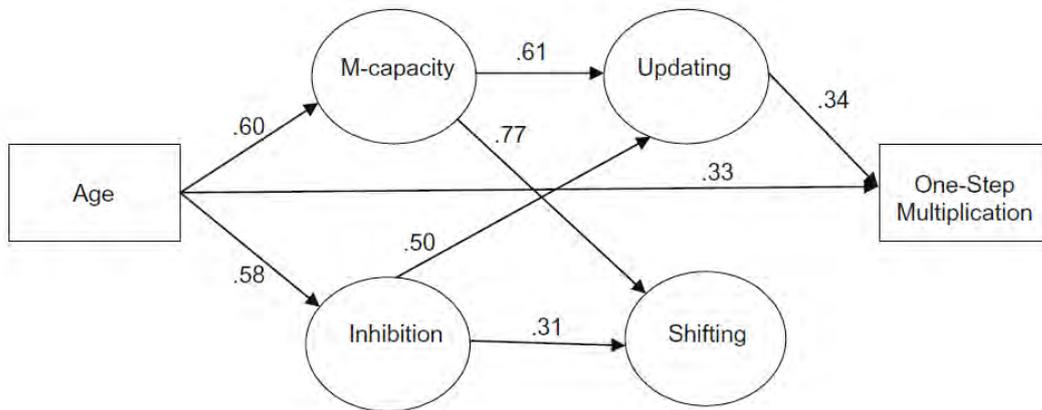
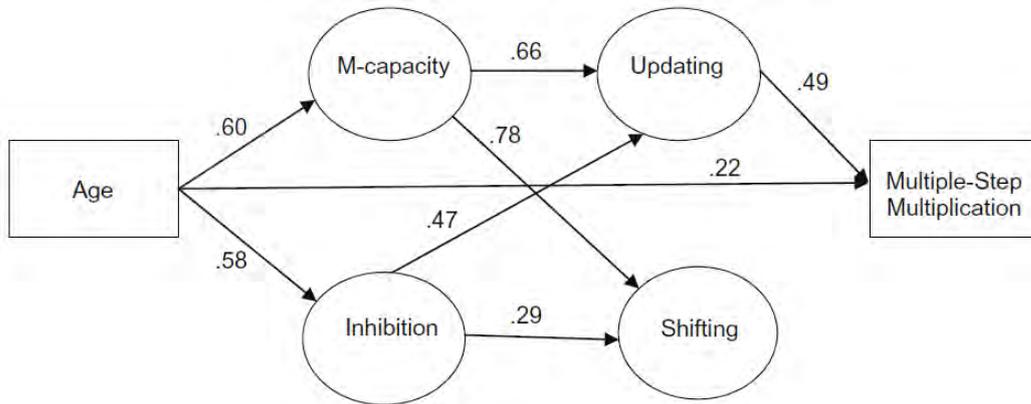
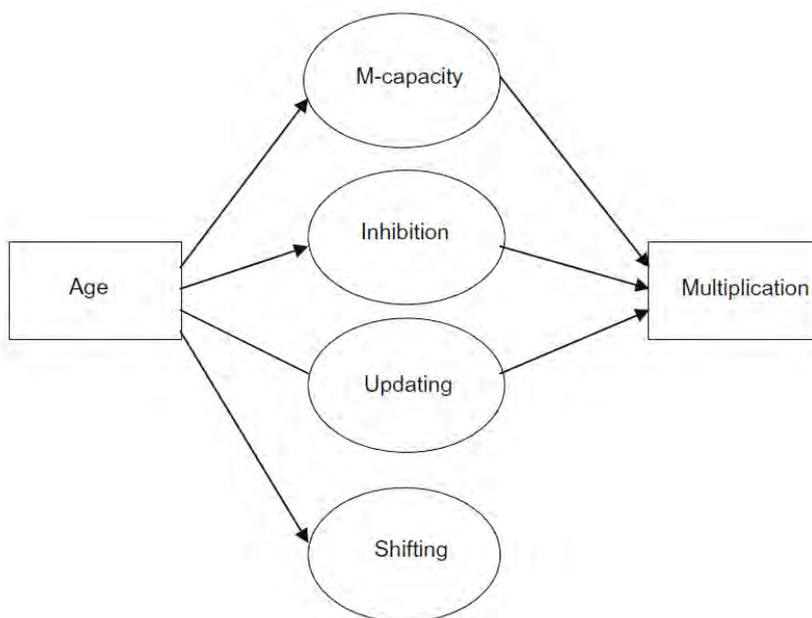


Figure 3. Single Factor model.

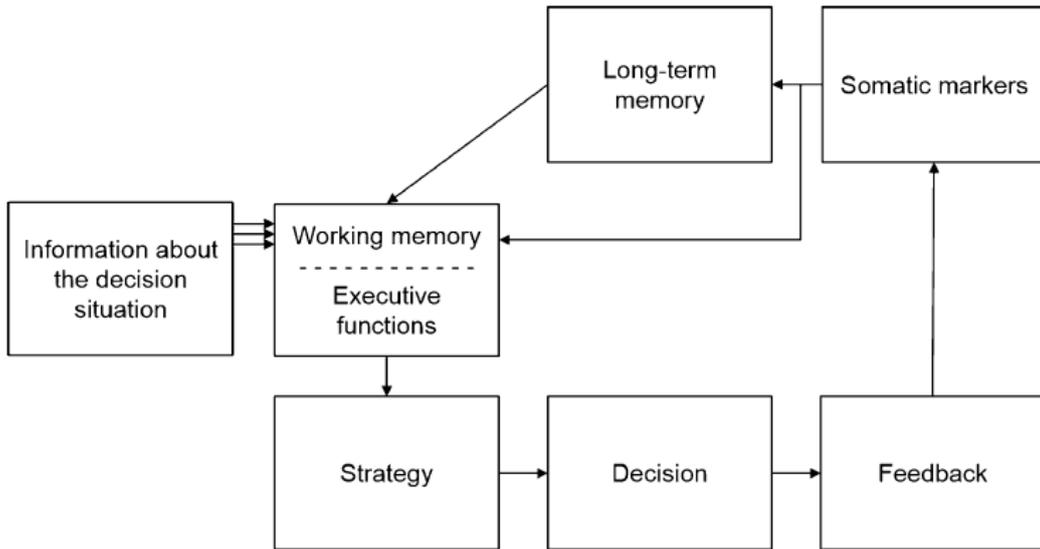
Annexe 6 : Modèles théoriques des effets médiateurs de l'âge, de la capacité M et de l'inhibition dans la prévision des performances multiplicatives (avec les résultats) pour les problèmes à une et plusieurs étapes (Agostino et al., 2010)



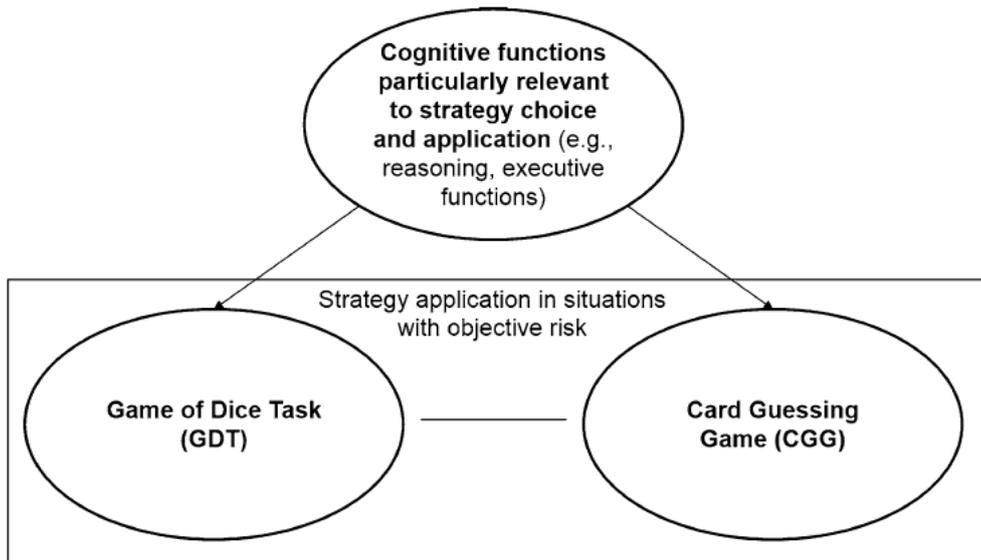
Annexe 7 : Modèle alternatif (Agostino et al., 2010)



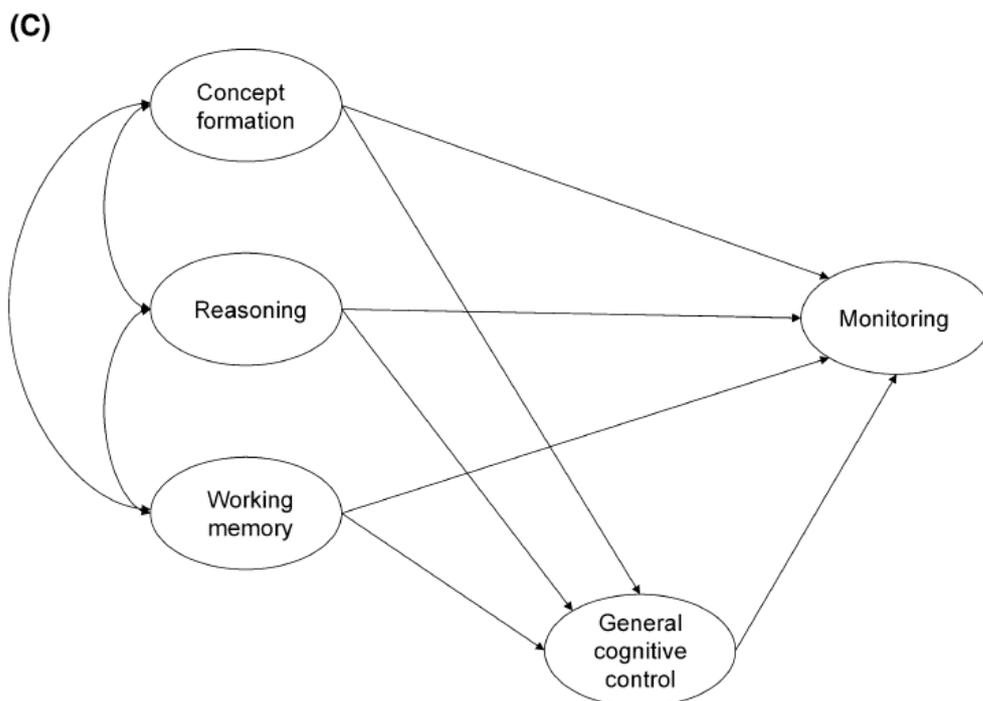
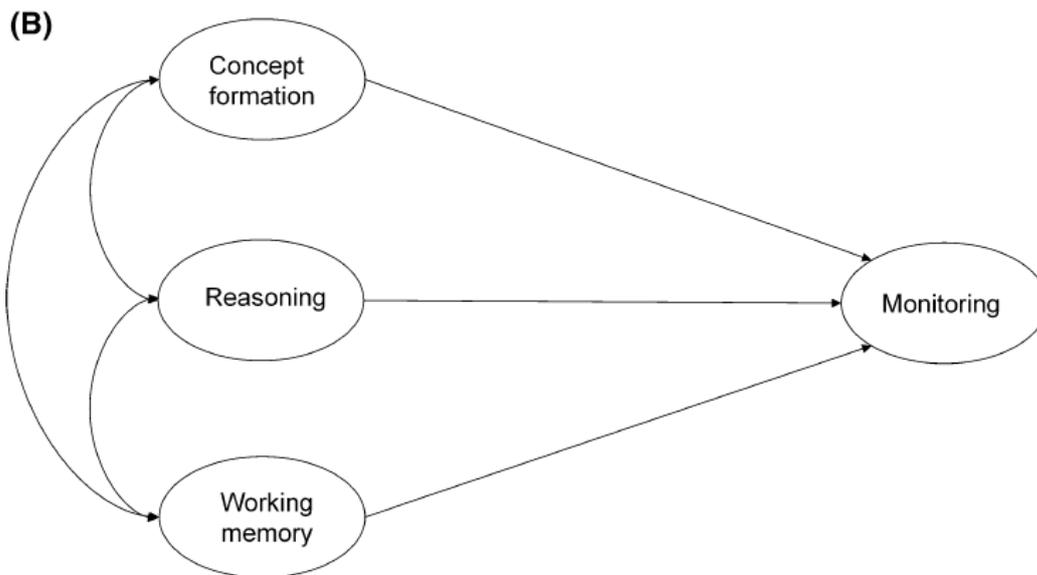
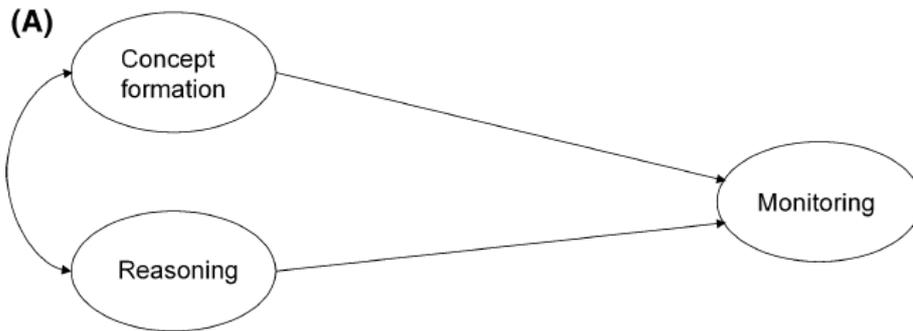
Annexe 8 : Résumé des idées principales du modèle de prise de décision sous risque (Schiebener & Brand, 2015)



Annexe 9 : Relations entre le raisonnement, les fonctions exécutives et les deux tâches de prise de décision (Schiebener & Brand, 2015)



**Annexe 10 : Schémas des relations entre différentes fonctions exécutives
(Gathmann et al., 2017)**



Synthèse

Le raisonnement correspond à « une suite de propositions articulées entre elles en vue de démontrer quelque chose » (Brin, 2014). Il existe différents types de raisonnement que l'on peut catégoriser en raisonnement par déduction ou par induction. Le point de référence actuel dans ce domaine reste la théorie constructiviste d'après laquelle la logique se construit par assimilation et accommodation en suivant des stades d'intelligence (Piaget, 1955).

Le trouble du raisonnement, qui intéresse tout particulièrement les orthophonistes, est défini d'après le DSM-V comme un raisonnement mathématique lent ou inexact en dehors d'un trouble associé et qui interfère avec la réussite scolaire, le fonctionnement professionnel ou les activités de la vie courante faisant appel à ces habiletés. Ces difficultés avec le raisonnement mathématique induisent par exemple de grandes difficultés à appliquer des concepts, des données ou des méthodes mathématiques pour résoudre des problèmes (Crocq, Guelfi, & American Psychiatric Association, 2016).

Les fonctions exécutives sont, elles, définies par le GREFFEX comme des « fonctions de direction permettant, lors de la réalisation d'une tâche, la définition d'un but ou des objectifs à atteindre, d'une stratégie pour y parvenir, le contrôle de sa mise en œuvre et des résultats. Elles correspondent donc à des fonctions de haut niveau (des fonctions de contrôle), impliquées dans de nombreuses formes d'activités cognitives » (Godefroy, Jeannerod, Allain, & Le Gall, 2008). Ainsi, le contrôle exécutif permet le guidage des conduites vers les buts visés à partir du moment où l'on sort des activités routinières automatisées et donc de répondre de façon adaptée aux changements de situation. Ce contrôle a été modélisé par différents chercheurs en fonction de chaque fonction exécutive.

Un trouble des fonctions exécutives induit quant à lui des perturbations des « habiletés mentales et non pas comportementales, tels la planification, l'organisation, l'adaptation, le jugement, l'abstraction, le raisonnement, la flexibilité mentale, donc au processus nécessaire à la résolution de problèmes du quotidien » (Paquette, cité par Ferrand & Oliva, 2011).

Ainsi, ces deux concepts de raisonnement et de fonctions exécutives sont liés et aujourd'hui largement étudiés, mais rarement en parallèle l'un de l'autre. Si certains auteurs sont parvenus à les rassembler au sein d'un même modèle, s'il s'agit de construits théoriques et non empiriques. Ainsi a été postulée l'organisation selon laquelle il existerait des fonctions exécutives supérieures (raisonnement, planification et capacité de résolution

de problèmes) qui reposeraient sur des fonctions exécutives de bas niveau (mémoire de travail, inhibition et flexibilité) (Diamond, 2013).

Nous nous sommes donc posé la question de l'implication de ces fonctions exécutives de base dans le raisonnement, sur un aspect clinique. L'objectif était ici de dresser un état des lieux sur la corrélation entre fonctions exécutives et raisonnement, afin d'avancer sur la nature du lien entre fonctions exécutives et raisonnement dans le but d'apporter un éclairage à la prise en charge du trouble du raisonnement. Nos hypothèses étaient :

- H1 : Les performances en mémoire de travail sont corrélées au raisonnement.
- H2 : Les performances en inhibition sont corrélées au raisonnement.
- H3 : Les performances en flexibilité mentale sont corrélées au raisonnement.

Pour y répondre, nous avons effectué une revue de la littérature sur les études portant sur le sujet, à l'aide de la méthodologie PRISMA. Cela a consisté en une identification d'une équation de recherche et son utilisation dans différentes bases de données (SUDOC, BDSP, EM Premium et PubMed), puis à une sélection des articles sur la base d'un tableau PICOS correspondant à notre question de recherche et enfin à une analyse des résultats relevés.

Afin de recueillir le plus de données possibles, nos critères PICOS étaient très larges :

- **P (population)** : Personnes saines, dans un contexte développemental.
- **I (intervention)** : Les tests mesurant le raisonnement et les fonctions exécutives.
- **C (comparaison)** : Corrélations ou non entre chaque fonction exécutive et le raisonnement.
- **O (outcomes / résultats)** : Les études montrent une corrélation entre chaque fonction exécutive de bas niveau (inhibition, mémoire de travail, flexibilité) et le raisonnement.
- **S (type d'études)** : Tous types d'études.

Notre sélection à finalement aboutit à dix documents pertinents pour notre sujet, avec trois documents dont la qualité scientifique (évaluée à partir une grille d'analyse d'articles) était moins bonne mais restait satisfaisante après lecture complète des documents en question.

Le premier document confirme la corrélation entre fonctions exécutives et raisonnement mais ne valide pas de direction entre les concepts. Le second nous renseigne sur le rôle médiateur des fonctions exécutives entre l'âge et les performances dans des problèmes multiplicatifs (nécessitant un raisonnement de type analogique). Le troisième

document prévoit une corrélation entre le raisonnement abstrait et la mémoire de travail. Le document quatre réunit les deux approches concernant le développement du raisonnement par analogie qui se ferait d'une part grâce à l'acquisition des connaissances et d'autre part par le biais de la maturation du cerveau, dont les fonctions exécutives. Le cinquième document nous renseigne sur le fait que l'inhibition et la flexibilité jouent un rôle dans le raisonnement, que ce soit chez l'adulte ou chez l'enfant, ce qui induit une relation causale entre les deux concepts. Le document six démontre le rôle du contrôle exécutif dans le raisonnement logique chez l'enfant et reprend l'idée du quatrième document en ajoutant la notion d'interaction entre les connaissances et le contrôle exécutif, qui sous-tendrait le raisonnement analogique. Le septième document avance l'idée d'une différence de processus entre raisonnement et fonctions exécutives (ici catégorisation, flexibilité mentale et maintien de la stratégie) car le raisonnement n'était pas corrélé à la prise de décision sous risque contrairement aux performances en fonctions exécutives. Le document huit met également en évidence l'indépendance entre raisonnement et fonctions exécutives de bas niveau car l'élaboration et l'application de stratégies de prise de décision plus avantageuses sont surtout associées à un meilleur raisonnement et pas tant aux autres fonctions exécutives. Le neuvième document associe fonctions exécutives et raisonnement pour expliquer le déclin des personnes âgées. Et le document dix avance que mémoire de travail et raisonnement sont des fonctions de base impliquées dans le contrôle cognitif général, tout comme devraient également l'être l'inhibition et la flexibilité.

Ainsi, la synthèse de ces documents nous a permis de mettre en évidence le rôle de chacune des fonctions exécutives de bas niveau (mémoire de travail, inhibition et flexibilité mentale) dans le raisonnement, ce qui valide nos trois hypothèses de départ. Par ailleurs, nous avons également pu confirmer le lien de corrélation entre les fonctions exécutives de manière générale et le raisonnement, ainsi que le fait que le raisonnement serait le fruit de l'interaction entre les fonctions exécutives et les connaissances du sujet. Il y aurait donc une relation de causalité entre fonctions exécutives de bas niveau et raisonnement.

La mise en évidence de ce lien ouvre donc des perspectives de rééducation orthophonique quant au trouble du raisonnement qui pourrait ainsi se baser sur un trouble des fonctions exécutives, mais cet aspect clinique serait à démontrer par de nouvelles études.

Mots-clés : raisonnement, fonctions exécutives, mémoire de travail, inhibition, flexibilité

Key-words : reasoning, executive functions, working memory, inhibitory control, cognitive flexibility