



Centre de
Formation
Universitaire en
Orthophonie de
Strasbourg

Mémoire présenté en vue d'obtenir le
Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Exploration de la combinatoire auprès d'une population d'adultes
sains : constitution d'une base de données utile à l'évaluation et à la
prise en soin orthophonique des patients adultes cérébrolésés

Grâce RUDIO

Année universitaire 2021-2022

Président du jury : Dr. François SELLAL, neurologue

Directrice de mémoire : Mme Caroline DENIS-FAERBER, orthophoniste, enseignante au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Strasbourg, enseignante au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Poitiers

Rapporteuse : Mme Louise GENDRE-GRENIER, orthophoniste, formatrice Cogi'act, enseignante au DUO de Nancy

Remerciements

Je souhaite remercier tout d'abord les membres de mon jury, qui m'ont soutenue et accompagnée de leurs conseils au cours de l'élaboration de ce mémoire. Merci pour votre temps et pour vos savoirs transmis, ils me seront chers lors de ma future vie professionnelle, je n'en doute pas.

Merci à mes maîtres de stage et professeurs qui m'ont appris ce beau métier que j'ai hâte d'exercer, mon identité professionnelle naissante s'inspire un peu de vous tous, et je n'attends que de l'étoffer par la pratique.

Merci aux gens de Biot, de Sophia, à tous les participants ou ceux qui ont voulu l'être, sans qui ce mémoire n'existerait pas.

Je remercie également ma famille pour leur amour et leur appui au cours de cette vie étudiante, qui prend (peut-être) sa fin en ce 24 juin 2022. Mention spéciale à Boubou et son aide, son humour, ses messages qui m'ont apporté un rayon de soleil dans la tempête de cette dernière année.

Merci à ceux rencontrés au cours du chemin, merci aux amis, camarades de promo et futurs collègues, merci pour leur soutien affectif et les discussions passionnantes. Merci aux colocs qui ont été mon foyer pendant ces dernières années.

Merci aux amours (ainsi que leurs talents en Excel), qui m'ont accompagnée au cours de ces derniers mois, qui m'ont donné force et motivation afin de mener à bien la fin de ma vie estudiantine, et qui m'accompagneront dans la transition avec « le monde des adultes ».

A vous tous, merci.

Sommaire

Remerciements.....	2
Sommaire	3
Introduction.....	1
1. Fondements théoriques	1
1.1. La théorie piagétienne.....	1
1.1.1. Développement de l'intelligence	1
1.1.1. Différents stades de développement	3
1.1.2. Combinatoire.....	5
1.1.2.1. Définition.....	5
1.1.2.2. Opérations combinatoires	6
Permutations	6
Combinaisons.....	7
Arrangements.....	8
1.1.2.3. Niveau socio-culturel et performances en combinatoire	9
1.2. Les fonctions exécutives : définitions et rôles	10
1.2.1. Définitions et rôles des fonctions exécutives.....	10
1.2.1.1. Inhibition	11
1.2.1.2. Mémoire de travail.....	11
1.2.1.3. Flexibilité (shifting).....	11
1.2.2. Fonctions exécutives et vieillissement.....	11
1.3. Cérébrolésions : impacts et conséquences	12
1.3.1. Compétences des adultes cérébrolésés.....	12
1.3.2. Enjeux de l'évaluation de la combinatoire chez l'adulte cérébrolésé.....	13
1.4. Hypothèses et objectifs	15
2. Méthodologie	16
2.1. Participants.....	16
2.1.1. Critères d'inclusion.....	16

2.1.2.	Critères d'exclusion	16
2.1.3.	Répartition des groupes.....	17
2.2.	Matériel utilisé	17
2.2.1.	Description des tests utilisés	17
2.2.1.1.	Mini Mental State Evaluation (MMSE – Version consensuelle GRECO, 1998)...	17
2.2.1.2.	Language Screening Test (LAST).....	18
2.2.1.3.	Stroop Victoria	18
2.2.1.4.	Alpha Span	19
2.2.1.5.	Trail Making Test (TMT).....	19
2.2.1.6.	Evaluation du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA) – épreuves de combinatoire	20
	Permutations (P)Tuiles.....	21
	Combinaisons (C)Tuiles et jetons.....	22
	Arrangements (A)Tuiles	23
2.3.	Procédure générale.....	24
2.4.	Tests statistiques utilisés	25
3.	Résultats.....	26
3.1.	Résultats généraux par épreuves de l'ERLA : analyses quantitative et qualitative.....	26
3.1.1.	A l'épreuve de permutations	27
3.1.2.	A l'épreuve de combinaisons.....	27
3.1.3.	A l'épreuve d'arrangements.....	28
3.1.4.	Synthèse partielle	28
3.2.	Analyse des résultats généraux de l'ERLA : validation de l'hypothèse H0.....	29
3.3.	Résultats par épreuves en fonction des performances en fonctions exécutives : validation de H1	30
3.3.1.	Comparaison avec les performances au Stroop Victoria	31
3.3.2.	Comparaison avec les performances à l'Alpha Span.....	32
3.3.3.	Comparaison avec les performances au TMT	33
3.3.4.	Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H1.....	34

3.4.	Résultats par épreuve de l'ERLA en fonction de l'âge : validation de H2.....	35
3.4.1.	Permutations	35
3.4.2.	Combinaisons.....	37
3.4.3.	Arrangements.....	38
3.4.4.	Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H2.....	39
3.5.	Résultats par épreuve de l'ERLA en fonction du niveau socio-culturel.....	40
3.5.1.	Permutations	40
3.5.2.	Combinaisons.....	42
3.5.3.	Arrangements.....	43
3.5.4.	Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H3.....	44
3.6.	Quelques remarques.....	45
3.7.	Récapitulatif des résultats : conclusion des hypothèses.....	47
4.	Discussion.....	48
	Synthèse des résultats	48
	Limites de l'étude	49
	Biais de recrutement	49
	Difficultés liées au matériel	50
	Difficultés de passation.....	50
	Difficultés de cotation.....	51
	Référence aux savoirs scolaires	51
	Temps de passation	52
	Intérêts de l'étude.....	52
	Perspectives de recherche	52
	Perspectives de rééducation	53
	Conclusion	54
	Bibliographie.....	55
	Annexes.....	59

Introduction

Adoptant une perspective constructiviste, la théorie de l'apprentissage de Jean Piaget postule que ce qui différencie la pensée concrète de l'enfant, inféodée au réel, de celle abstraite de l'adulte, est la naissance du raisonnement hypothético-déductif lors de l'adolescence. Véritable point de bascule, ce type de pensée élaboré est engendré par l'émergence d'une combinatoire logique.

La structuration du raisonnement logique, abondamment étudié chez l'enfant, n'a pas donné lieu à beaucoup d'études concernant les adultes et notamment les sujets cérébrolésés¹. Or une lésion cérébrale acquise chez l'adulte peut toucher ces opérations logiques mises en place lors des premières années de vie².

Dans la continuité des travaux de Vincens et Casanovas (2020)³, nous proposons, dans le cadre de ce mémoire d'orthophonie, d'étudier le fonctionnement de la structure de combinatoire chez une population d'adultes tout-venants. Notre objectif au terme de cette étude est de proposer une base de données utile à l'évaluation et la prise en soins d'adultes cérébrolésés.

1. Fondements théoriques

1.1. La théorie piagétienne

L'épistémologie génétique est centrée sur l'étude de l'origine de la pensée et de la connaissance⁴. Selon la théorie de Jean Piaget, chef de file de ce courant de pensée, le développement de l'enfant est divisible en quatre stades, au cours desquels se construisent les opérations logiques qui sous-tendent l'intelligence dite « formelle ». Nous définirons ces notions dans les pages suivantes.

1.1.1. Développement de l'intelligence

La psychologie s'envisage depuis ses débuts comme une « *mise en abyme du cerveau humain* »⁵, qui contribue à éclaircir les mystères de l'intelligence et de son fonctionnement.

Le terme d'intelligence est pluriel, car il peut concerner l'intégration d'informations extérieures (sensations, perceptions), la prise de conscience de phénomènes, la conservation des informations en

¹ (Gendre-Grenier & Vailland, 2013)

² (Cavé, 2014)

³ (Vincens & Casanovas, 2020)

⁴ (Houdé, 2018a)

⁵ (Houdé, 2018a)

mémoire et l'utilisation d'une pensée structurée, qui engloberait réflexion, jugement, imagination et raison. En d'autres termes, l'intelligence est la « *fonction mentale d'organisation du réel en pensées* »⁶.

Dans la théorie piagétienne, lorsqu'une action est intégrée par le sujet, on lui donne le nom de « *schème* ». Dans un premier temps, ces actions intégrées sont de nature motrice, puis au fil du développement de l'enfant, ces conduites intériorisées se muent en une organisation interne, et peuvent être modifiées ou coordonnées entre elles. Ainsi, l'adaptation cognitive, au sens d'assimilation des objets aux schèmes et l'accommodation des schèmes aux particularités des objets rencontrés⁷, constituerait les mécanismes fonctionnels de l'intelligence.

L'adaptation du sujet au milieu et l'équilibration de ces schèmes jouent un rôle essentiel dans le développement des processus de la connaissance⁸. Effectivement, selon la théorie constructiviste, le développement de l'intelligence est linéaire et cumulatif, car lié à l'évolution des actions de l'enfant, à leur coordination et à leur intériorisation successives⁹ : « *Le développement de l'intelligence consiste essentiellement en la formation de nouveaux instruments de connaissance à partir des premiers schèmes de l'action (schèmes réflexes) et de leurs interactions adaptatives variées avec le milieu* »¹⁰. Les actions exercées sur l'environnement sont ainsi progressivement intériorisées par le sujet grâce à une dynamique de schèmes d'adaptation :

- Assimilation : processus qui permet au sujet d'intégrer un nouvel objet à ses schèmes préexistants.
- Accommodation : processus qui permet au sujet d'adapter un schème à un nouvel objet, lorsque l'assimilation est insuffisante

C'est ainsi que « *le sujet accroît son pouvoir d'action sur les choses, sa compréhension du réel, en développant de nouvelles conduites, modifiant par conséquent l'organisation (structures) dont il disposait à l'origine.* » De plus, « *au contact du milieu (interactions schèmes-objets) le sujet est amené à raffiner les conduites dont il disposait à l'origine, et à en élaborer de plus complexes, devenant de mieux en mieux adapté ou adaptable à la diversité du réel* »¹¹. L'élaboration de ces « instruments de connaissance » permet au sujet de développer son intelligence¹².

⁶ (INTELLIGENCE : Définition de INTELLIGENCE, s. d.)

⁷ (Legendre Bergeron, 1980)

⁸ (Legendre Bergeron, 1980)

⁹ (Houdé, 2018a)

¹⁰ (Legendre Bergeron, 1980)

¹¹ (Legendre Bergeron, 1980)

¹² (Legendre Bergeron, 1980)

Selon Chalon-Blanc (1997), « *l'intelligence consiste à trouver une solution non inscrite dans les données immédiates* » : lorsque la perception d'une situation est trompeuse, il appartient à notre intelligence de contourner ce défaut et de le corriger, ces conduites de détour sont témoin de l'intelligence (par exemple : la recherche de l'objet disparu dès lors que la permanence de l'objet est acquise). Ces comportements se complexifient progressivement, à l'aune du développement de l'intelligence¹³, dont le stade final correspond à l'atteinte d'une intelligence logique capable d'abstraction, et permettant d'envisager l'intégralité des conséquences possibles d'une action envisagée. L'atteinte de ce stade est conditionnée par l'émergence d'une combinatoire logique.

1.1.1. Différents stades de développement

Jean Piaget distingue différents stades de développement de l'intelligence chez l'enfant, intelligence qui mature jusqu'à parvenir à son stade final : la pensée abstraite ouvrant le chemin à un raisonnement hypothético-déductif.

Le **stade sensorimoteur** (0-2 ans) voit les débuts de l'interprétation du monde, sur la base d'actions motrices et de perceptions sensorielles. L'enfant comprend progressivement le monde physique et les actions (schèmes d'action) qu'il peut entreprendre sur lui. La permanence de l'objet est acquise à cette période¹⁴ ainsi que la compréhension de l'espace, du temps, et de la causalité¹⁵. La pensée est cependant dépendante de l'instant présent, et incapable de décentration.¹⁶

Le **stade préopérateur** (2-7 ans) voit l'émergence de la fonction symbolique (comme capacité à se représenter les objets absents), dont témoignent le développement du langage, du jeu, du dessin, et de l'imitation différée. Les schèmes d'action précédemment construits sont intériorisés, ce qui permet leur combinaison et la distanciation du réel et de l'immédiateté : l'enfant devient capable de réfléchir sur des objets absents, qui ont désormais une représentation mentale^{17 18}.

Lors du **stade opératoire concret** (7-12 ans), on observe la mise en place des prémices d'une combinatoire, qui permet l'apparition de la réversibilité (inversion ou négation) et de la réciprocité opératoires, ainsi que de la flexibilité mentale : les actions et opérations peuvent être corrigées, annulées ou compensées par les opérations intériorisées inverses¹⁹, cependant, celles-ci restent

¹³ (Chalon-Blanc, 1997)

¹⁴ (Piaget, 1977)

¹⁵ (Piaget, 1966)

¹⁶ (Houdé, 2018a)

¹⁷ (Houdé, 2018a)

¹⁸ (Piaget, 1966)

¹⁹ (Houdé, 2018a)

inféodées aux objets concrets²⁰ et ne sont pas reliées entre elles, restant indépendantes les unes des autres. Les opérations du stade concret consistent à classer, mettre en relation ou dénombrer les objets en procédant de proche en proche, c'est-à-dire sans permettre de relier n'importe quel terme à n'importe quel autre terme, comme le ferait une combinatoire aboutie, ce que nous évoquerons dans la partie suivante²¹.

Au dernier stade, le **stade opératoire formel** (12-15 ans), les schèmes sont présents sous leur forme logique. L'enfant a la capacité de raisonner directement sur des opérations propositionnelles (propositions logiques, idées, hypothèses), et non plus sur des objets concrets, dépendant de la propre expérience du sujet sur eux : sa pensée s'abstrait des contenus pour se concentrer sur la validité d'une déduction par sa structure et non plus ses aspects sémantiques²².

A ce stade, l'individu est capable de dissocier les facteurs d'une proposition par l'imagination, d'en faire changer chaque variable au moyen d'une réflexion et d'un raisonnement hypothético-déductif (par exemple, pour comprendre une expérience physique), et a également la capacité d'attribuer une valeur démonstrative à ses déductions et de les vérifier. A l'inverse du stade opératoire concret, au stade formel, le réel est inféodé au possible²³, et ces possibilités sont reliées entre elles par des liens logiques et abstraits, ce qui n'était pas le cas lors du stade antérieur.

Le rapport au monde de l'adolescent change également. Socialement, on peut témoigner de certains changements dans sa discussion, d'une prise en compte des convictions d'autrui grandissante : l'adolescent est capable d'adopter le point de vue de l'autre et d'en tirer des conséquences logiques, des déductions, des jugements de valeur. Cette aptitude naissante de pouvoir s'intéresser à des sujets qui ne le concernent pas directement bouleverse ses relations interpersonnelles et lui permet de s'insérer dans une société d'adultes²⁴.

En somme, ces capacités nouvelles font l'apanage de la pensée adulte : l'inférence, la déduction, la genèse d'hypothèses, leur vérification, et la recherche de solutions nouvelles et inédites²⁵... Le sujet s'abstrait du réel en faisant preuve de décentration, en anticipant des situations, en raisonnant sur des hypothèses : « *La pensée (...) a le pouvoir d'anticiper le devenir et d'en vérifier, par l'expérience, la pertinence* »²⁶.

²⁰ (Piaget, 1966)

²¹ (Piaget, 1970)

²² (Houdé, 2018a)

²³ (Piaget, 1966)

²⁴ (Piaget, 1970)

²⁵ (Houdé, 2018a)

²⁶ (Dolle, 2013)

La pensée formelle agit à un niveau supérieur, elle obéit à une logique propositionnelle régie par une combinatoire.²⁷ L'émergence de cette combinatoire est ainsi un point de bascule du stade concret au stade formel. Nous nous attellerons à la définir au cours du point suivant.

1.1.2. Combinatoire

1.1.2.1. Définition

Ce qui en mathématiques est une science « *qui étudie les dénombrements ou les configurations d'ensembles finis* »²⁸, est investi par la psychologie constructiviste lorsqu'elle s'attelle à expliquer la genèse de l'idée de hasard et des probabilités chez l'enfant²⁹. La combinatoire logique naît de la généralisation des opérations de relation d'ordres (classification, sériation)³⁰, et est à ce titre une opération de seconde puissance (une opération portant sur d'autres opérations) et marque l'entrée dans le stade opératoire formel³¹. Les objets ne sont plus simplement classés, sériés, triés, mais ils sont pris à titre de propositions³² qui sont reliées entre elles au moyen d'un système d'inversions (I), de négations (N), de réciprociétés (R) et de corrélations (C) (groupe INRC ou groupe de Klein)^{33 34}.

Au stade concret, il existe un système d'associations de base qui concerne les opérations de classification et de sériation et en permet la réversibilité (par inversion ou négation) et la réciprociété. Cependant, ces opérateurs ne sont pas liés entre eux. La combinatoire logique qui régit le stade opératoire formel permet de faire des liens entre toutes ces négations : c'est ce qu'on appelle les 16 opérations ou fonctions binaires de la logique bivalente des propositions, qui correspondent à la liaison de ces associations de base grâce aux opérations du groupe INRC. Ces combinaisons propositionnelles sont une aptitude du sujet qui a acquis la combinatoire. Cette logique des propositions « *apparaît ainsi comme l'une des conquêtes essentielles de la pensée formelle* »³⁵.

Ainsi la logique de l'adolescent est-elle « *un système complexe mais cohérent, [...] qui constitue l'essentiel de la logique des adultes cultivés ou même de la logique propre aux formes élémentaires de la pensée scientifique* ». Effectivement, le schème de combinatoire offre au sujet « *une méthode systématique lui permettant de constituer, à partir des données d'un problème, un ensemble de*

²⁷ (Dolle, 2005)

²⁸ (Brin, 2014)

²⁹ (Piaget & Inhelder, 1951)

³⁰ (Piaget, 1966)

³¹ (Piaget & Inhelder, 1951)

³² (Dolle, 2005)

³³ (Piaget, 1970)

³⁴ (Dolle, 2005)

³⁵ (Piaget, 1970)

*combinaisons possibles (hypothèses) »*³⁶, et permettrait également de vérifier leur compatibilité avec le problème en dissociant ses variables. La combinatoire permettrait ainsi l'emploi d'opérations propositionnelles et hypothético-déductives, c'est-à-dire des hypothèses sur les causes possibles d'un phénomène, ou des propositions liées entre elles pour créer une théorie. C'est le principe intrinsèque de la démarche expérimentale³⁷ (qui consiste en la variation méthodique de chaque facteur indépendamment, tout en gardant les autres constants pour tenter de connaître leur influence réelle³⁸).

Ainsi, la maturation de ce type de pensée très élaborée autorise le sujet à s'organiser conceptuellement pour trouver toutes les transformations possibles face à une situation problème (réelle ou anticipée). Dans les épreuves testant la combinatoire, c'est cette organisation conceptuelle exhaustive ayant pour but de trouver tous les possibles qui est recherchée³⁹. Nous allons, dans le prochain paragraphe, présenter les différentes opérations combinatoires qui ont été investiguées dans le cadre de cette étude.

1.1.2.2. Opérations combinatoires

Les différents types de combinatoire sur lesquels nous proposons de nous pencher dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Permutations
- Combinaisons
- Arrangements (avec et sans répétition d'élément)

Ces trois processus constituent le corps des épreuves de combinatoire de la batterie ERLA (Évaluation du Raisonnement et du Langage Associé) que nous décrirons plus tard.

Permutations

La permutation est une opération consistant à intervertir deux objets distincts en les changeant réciproquement de place⁴⁰. Pour un ensemble sans répétition, le nombre de dispositions de n éléments est égal à $n!$ ⁴¹.

Par exemple pour un ensemble contenant 2 objets distincts A et B, on obtiendra AB-BA.

³⁶ (Legendre Bergeron, 1980)

³⁷ (Legendre Bergeron, 1980)

³⁸ (Chalon-Blanc, 1997)

³⁹ (Piaget, 1970)

⁴⁰ (Brin, 2014)

⁴¹ (Chassard & Lixi, 2020)

Avant 7 - 8 ans, l'enfant ne comprend pas que plusieurs permutations avec plusieurs éléments peuvent être réalisées. Il n'extrait pas de système, tâtonne et procède de proche en proche pour trouver des résultats. Cette étape correspond au stade I identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴².

Entre 7-8 ans et 11-12 ans, l'enfant découvre empiriquement des méthodes partielles, et devient capable d'anticiper les systèmes, car il comprend qu'il existe des régularités : il effectue des jugements de probabilité. Cette étape correspond au stade II identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴³.

A partir de 12 ans, l'adolescent découvre progressivement la loi de répartition. Progressivement, il devient de plus en plus capable de trouver un système et de le généraliser à d'autres ensembles. La loi est extraite et comprise sous la forme $n!$ et plus comme une accumulation additive de termes. Cette étape correspond au stade III identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴⁴.

Legeay et al. ⁴⁵identifient un dernier stade IV, au cours duquel le sujet évoque un pronostic valable et généralise la loi à d'autres ensembles. Il s'agit du niveau d'équilibre témoignant de l'efficacité d'une combinatoire logique.

Combinaisons

Une combinaison se présente comme une disposition de k éléments parmi un ensemble de n éléments sans tenir compte de leur ordre de placement. Pour un ensemble sans répétition, il y a $\binom{n}{k} = \frac{A_n^k}{k!} = C_n^k$ ⁴⁶, n étant le nombre d'éléments dans l'ensemble et k le nombre d'éléments extraits de l'ensemble n .

Par exemple pour un ensemble contenant 4 objets distincts A, B, C, D que nous intervertirons en prenant trois lettres à la fois (k parmi n) sans prendre en compte l'ordre, on peut alors obtenir 4 combinaisons : ABC, ABD, CDA, CDB (chacun des ensembles ne peut apparaître qu'une seule fois sous n'importe quelle configuration).

Avant 7 ans en moyenne, l'enfant découvre empiriquement les combinaisons, sans prendre conscience d'un système. Cette étape correspond au stade I identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴⁷.

Entre 7 et 11 ans, le sujet procède par tâtonnements et essai-erreur, il se fie à la juxtaposition additive des termes de la combinaison, et n'imagine pas leur association multiplicative. Les éléments sont

⁴² (Piaget & Inhelder, 1951)

⁴³ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁴⁴ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁴⁵ (Legeay et al., 2009)

⁴⁶ (Chassard & Lixi, 2020)

⁴⁷ (Piaget & Inhelder, 1951)

considérés comme s'ils existaient indépendamment les uns des autres. Progressivement des liens se tissent entre les différentes combinaisons, mais le système d'associations dans son intégralité n'est pas encore découvert. Cette étape correspond au stade II identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴⁸.

Après 11-12 ans, le système est découvert et méthodique, car les associations entre les combinaisons sont toutes présentes, constituant un seul système unique et non plus des combinaisons isolées. Le sujet est également capable d'anticiper ce système. Cette étape correspond au stade III identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁴⁹.

Arrangements

Un arrangement se présente comme une disposition de k éléments parmi un ensemble de n éléments en tenant compte de leur ordre de leur ordre de placement. Les arrangements sont la synthèse des permutations et des combinaisons⁵⁰. Le nombre d'arrangements *sans* répétition de n éléments pris k à k est égal à $A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}$. Le nombre d'arrangements *avec* répétition de n éléments pris k à k est égal à n^k ⁵¹.

Par exemple pour un ensemble contenant 4 objets distincts A, B, C, D que nous intervertirons en prenant trois lettres à la fois (k parmi n) sans prendre en compte l'ordre, on peut alors obtenir 24 combinaisons :

- *Toutes les possibilités pour A en première position (P1) : ABC, ABD, ACB, ACD, ADB, ADC.*
- *Toutes les possibilités pour B en P1 : BAC, BAD, BCA, BCD, BDA, BDC.*
- *Toutes les possibilités pour C en P1 : CAB, CAD, CBA, CBD, CDA, CDB.*
- *Toutes les possibilités pour D en P1 : DAB, DAC, DBA, DBC, DCA, DCB.*

Le stade I décrit par Piaget et Inhelder (1951)⁵² est caractérisé par des conduites de proche en proche et de tâtonnements. Aucun système exhaustif n'est envisagé.

⁴⁸ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁴⁹ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁵⁰ (Bellot & Trinquesse, 2009)

⁵¹ (Chassard & Lixi, 2020)

⁵² (Piaget & Inhelder, 1951)

Au cours du stade II identifié par Piaget et Inhelder (1951)⁵³, les opérations à la seconde puissance caractéristiques de la pensée formelle ne sont pas assez développées pour permettre de comprendre la construction du système d'arrangements. On observe cependant une systématisation et une généralisation croissantes dans les arrangements réalisés.

Lors du stade III⁵⁴, on peut observer la compréhension croissante du système d'arrangements, ce qui permet à terme la généralisation à d'autres ensembles et l'énonciation d'un pronostic et d'une justification adéquats, illustrant un schéma de pensée qui devient réflexif et anticipateur, car l'enfant tire le principe constructif et les généralisations possibles d'un ensemble des énoncés propositionnels qu'il évoque.

Ainsi, en quelques années, l'enfant passe d'une pensée concrète, nécessitant d'expérimenter les différents possibles pour les réaliser, procédant par essai-erreur et sans conscience d'un système global ou de l'existence de lien entre les possibilités réalisées, à une réflexion abstraite, émancipée du réel pour s'organiser conceptuellement et trouver toutes les variations possibles d'une situation. Ce cheminement témoigne de la maturation de la combinatoire logique.

Selon Piaget, la combinatoire est supposée être acquise lors de l'adolescence. Cependant, des recherches plus récentes ont souligné des différences d'acquisition dans la population générale. Nous nous pencherons sur ce point dans le paragraphe suivant.

1.1.2.3. Niveau socio-culturel et performances en combinatoire

Bien que, selon la théorie piagétienne, les comportements associés au stade opératoire devraient être acquis vers l'âge de 15 ans⁵⁵, différentes études démontrent que les performances en combinatoire sont hétérogènes dans la population générale, dépendant du niveau d'éducation et du niveau socio-culturel⁵⁶. Selon Bradmetz (1999), le développement de la pensée abstraite, consubstantiel au stade d'opérations formelles, dépend crucialement d'une combinaison d'environnements éducatifs et sociaux particulièrement étayants⁵⁷. En effet, Larivée (1981)⁵⁸, dans une étude menée sur des collégiens entre 12 et 15 ans, observe des performances chutées en permutation chez les jeunes appartenant aux classes spécifiquement dédiées aux élèves en situation d'échec ou présentant des retards scolaires. Ainsi, une grande partie des sujets des classes ayant un moindre niveau n'auraient pas fini de structurer leurs opérativité concrète, et demeureraient au niveau opératoire concret. Le mode

⁵³ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁵⁴ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁵⁵ (Piaget & Inhelder, 1951)

⁵⁶ (Durel & Leiser, 2009)

⁵⁷ (Bradmetz, 1999)

⁵⁸ (Larivée, 1981)

de pensée hypothético-déductif échapperait ainsi à une portion de l'échantillon observé dans le cadre de cette étude, remettant en question le paradigme proposé par Piaget⁵⁹.

Face aux controverses de sa théorie, Jean Piaget la fait évoluer : ainsi certains sujets moins éduqués resteraient au niveau concret, puisque les âges d'atteinte des stades varieraient sensiblement d'un milieu social à un autre. Il suggère également un impact de la diversité intellectuelle des aptitudes avec l'âge, en fonction d'une curiosité, d'une ouverture personnelle au monde, ou d'une aptitude particulière à la combinatoire. Effectivement, celle-ci pourrait être induite par un entraînement, comme le dessin. Certains individus développeraient une combinatoire logico-mathématique, tandis que d'autres développeraient d'autres compétences, qui pourraient aussi nécessiter une combinatoire, mais s'exprimant différemment⁶⁰.

Afin d'étudier l'impact du niveau socio-culturel (NSC) des participants sur leurs performances en combinatoire, et identiquement au protocole proposé par Vincens et Casanovas (2020)⁶¹, nous avons décidé de séparer notre échantillon en deux groupes différents : NSC 1 (scolarité inférieure au baccalauréat) et NSC 2 (scolarité supérieure au baccalauréat), avec l'hypothèse que les sujets NSC 2 auraient de meilleures compétences que les sujets NSC 1.

1.2. Les fonctions exécutives : définitions et rôles

Dans cette partie, nous délaisserons la psychologie constructiviste pour nous focaliser sur la composante neuropsychologique et exécutive du raisonnement. Nous définirons ainsi les fonctions exécutives et examinerons leurs liens avec le raisonnement et l'exercice de la pensée.

1.2.1. Définitions et rôles des fonctions exécutives

Les fonctions exécutives regroupent un ensemble de fonctions cognitives de haut niveau liées au fonctionnement des lobes frontaux⁶². Elles sont les mécanismes cognitifs de contrôle modulant la dynamique de la cognition humaine⁶³. Elles servent « *à concevoir, organiser, planifier et exécuter des activités complexes, qui nécessitent une intégrité des compétences de raisonnement, de logique, d'attention et d'inhibition.* »⁶⁴. Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de nous concentrer sur trois d'entre elles : l'inhibition, la mémoire de travail, et la flexibilité.

⁵⁹ (Larivée, 1981)

⁶⁰ (Piaget, 1970)

⁶¹ (Vincens & Casanovas, 2020)

⁶² (Miyake et al., 2000)

⁶³ (Miyake et al., 2000)

⁶⁴ (Brin, 2014)

1.2.1.1. Inhibition

L'inhibition se caractérise comme une capacité à inhiber une réponse prépondérante, automatique et inadaptée à une situation⁶⁵. Elle est un processus d'attention sélective et de contrôle exécutif permettant à notre cerveau de résister aux distracteurs et aux inférences⁶⁶.

1.2.1.2. Mémoire de travail

La mémoire de travail est une mémoire à court terme qui a pour rôle de réguler les processus cognitifs. Elle est théorisée sous la forme d'un modèle tripartite : une boucle phonologique, un calepin visuospatial et un administrateur central (appelé Supervisory Attentional System (SAS) chez Norman et Shallice⁶⁷). Son rôle est de maintenir ou de manipuler de façon temporaire et limitée les informations nécessaires aux activités cognitives en cours⁶⁸.

1.2.1.3. Flexibilité (shifting)

La flexibilité est la capacité de réaliser une nouvelle opération en désengageant le comportement précédemment adopté et en opérant un « *switching* » afin de faire venir au premier plan exécutif un nouveau comportement plus adapté⁶⁹. Il s'agit de « *déplacer rapidement et efficacement le foyer attentionnel entre différents aspects des stimuli à traiter ou entre des activités cognitives différentes* »⁷⁰. La flexibilité concerne ainsi les allées-venues entre différentes tâches, opérations ou états mentaux. Elle implique l'inhibition d'interférences liées à la réalisation d'une tâche précédente afin d'engager ou de désengager un comportement approprié.

1.2.2. Fonctions exécutives et vieillissement

Au cours du vieillissement normal, des difficultés cognitives spécifiques viennent à apparaître (notamment : encodage des informations nouvelles, perturbation des capacités mnésiques, déclin de la capacité à sélectionner une stratégie adéquate)⁷¹.

On peut de plus observer une certaine involution des compétences en fonctions exécutives liée à l'âge. On note ainsi un déficit en mise à jour de mémoire de travail (updating) lorsque la charge mnésique est lourde, une diminution des ressources de l'administrateur central, en flexibilité globale et plus

⁶⁵ (Miyake et al., 2000)

⁶⁶ (Houdé, 2018b)

⁶⁷ (Norman & Shallice, 1980)

⁶⁸ (Houdé, 2018b)

⁶⁹ (Miyake et al., 2000)

⁷⁰ (Collette & Salmon, 2014)

⁷¹ (Houdé, 2018b)

largement en planification et en choix de stratégies de résolution de problème. Cependant, même si des effets d'interférence lors de la passation du Stroop apparaissent, un certain nombre d'études ne parvient pas à mettre en évidence un réel déficit en inhibition qui soit lié à l'âge. Ainsi une population âgée peut présenter des scores similaires à ceux d'une population jeune⁷².

Nous avons décidé dans cette étude de répartir les sujets en trois groupes d'âge différents, avec l'hypothèse que les sujets âgés obtiendraient des scores différents des sujets jeunes aux différents tests proposés.

1.3. Cérébrolésions : impacts et conséquences

Une lésion cérébrale peut survenir selon de multiples étiologies : causes toxiques, virales, vasculaires, traumatiques, dégénératives... Les conséquences de ces lésions seront, elles aussi, diverses, et dépendent des structures cérébrales qui seront touchées.

1.3.1. Compétences des adultes cérébrolésés

Outre les troubles phasiques et cognitifs qui peuvent survenir dans un contexte lésionnel, Rigolet (1997) décrit des compétences logico-mathématiques très hétérogènes chez une population d'adultes cérébrolésés. Lors de la passation d'épreuves issues de différentes batteries neuropsychologiques et orthophoniques, elle retrouve des comportements issus de tous les différents stades de développement décrits par Jean Piaget, du plus avancé au plus archaïque. Les erreurs commises par les patients sont principalement dues à un défaut de choix de stratégie, et une absence d'anticipation et de planification. Les sujets éprouvent des difficultés à élaborer une stratégie, à la transposer et à s'en détacher pour pouvoir en changer. Les informations ne sont pas mises en lien en vue d'une déduction de conduite à tenir. Globalement, les participants cérébrolésés rencontrent des difficultés dans les domaines suivants :⁷³

- Anticipation
- Planification
- Programmation d'action
- Initiation de comportements

⁷² (Collette & Salmon, 2014)

⁷³ (Rigolet, 1997)

- Elaboration de stratégie
- Mobilité de pensée (rigidité)
- Rétroaction et réversibilité
- Elaboration d'une cohérence entre les états et l'action
- Décentration
- Régulation et établissement d'un contrôle métacognitif en vue de vérifier et d'évaluer une stratégie
- Comportements de persévération dans l'erreur avec baisse générale de l'activité critique
- Sensibilité au biais de confirmation
- Mise en relation des information
- Déduction
- Interprétation de la situation
- Sélection des éléments pertinents et traitement des données
- Inférence (formation d'hypothèse remplacée par une démarche empirique essais/erreurs)
- Inhibition

1.3.2. Enjeux de l'évaluation de la combinatoire chez l'adulte cérébrolésé

Cavé (2014) et Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) attestent la présence d'altérations des opérations logiques chez les sujets cérébrolésés. Or, les tentatives d'évaluation des troubles logiques de ces sujets se heurtent à une difficulté méthodologique majeure : le manque d'une base de données fiable sur les compétences d'une population de référence^{74 75 76}. Construire une base de données permettrait de dégager des critères pertinents à observer lors du bilan logico-mathématique des adultes cérébrolésés. L'objectif de cette étude serait donc de faire ressortir les spécificités des performances des adultes en combinatoire pour construire une échelle de comparaison allant du normal au pathologique.

⁷⁴ (Gendre-Grenier & Vaillandet, 2013)

⁷⁵ (Altenburger, 2016)

⁷⁶ (Vincens & Casanovas, 2020)

De manière générale, cette échelle présenterait un intérêt dans trois domaines. Premièrement, la résolution de problèmes qui, comme nous l'avons vu dans la partie précédente, est fortement impactée par une lésion cérébrale. La résolution de problème requiert une méthode de recherche, une combinatoire opérationnelle, l'emploi d'une heuristique, et une bonne représentation de la situation et des ressources dont la personne dispose. Si ce type de raisonnement est absent, la résolution de problèmes sera lente, fastidieuse, et peu efficace : le sujet sera donc inadapté dans ce contexte, ce qui, pour un adulte socialement intégré, reste très handicapant. Dans le cadre des troubles logico-mathématiques, l'évaluation de la combinatoire permet de mesurer la capacité de la pensée à envisager toutes les variables possibles d'une situation. Ce type de raisonnement fait défaut aux sujets cérébrolésés, et le travail de cette compétence permettrait de réapprendre aux patients suivis en orthophonie à prendre connaissance de toutes les données du problème auquel ils font face, à hiérarchiser les informations pertinentes, à les mettre en relation et à choisir une stratégie de résolution adaptée grâce à la génération d'hypothèses, puis à s'autocorriger.

Deuxièmement, selon Gibello (1986, cité par Durel & Leiser, 2009)⁷⁷, l'objectif principal de la combinatoire est la mobilité de pensée, qui est à la fois un domaine largement investi par les rééducations orthophoniques et une compétence sévèrement impactée dans le cadre des troubles cognitifs dont souffrent les patients cérébrolésés. Ainsi, une rééducation de la combinatoire pourrait réactiver une mobilité de pensée chez ces sujets, et faciliter leur quotidien.

Enfin, langage et logique sont intimement liés⁷⁸. Récemment, de nombreuses études ont démontré les corrélations rééducatives pouvant exister entre les troubles logiques et pragmatiques. Altenburger (2016)⁷⁹ prouve la supériorité d'une rééducation des structures logiques en plus d'une remédiation pragmatique par rapport à une rééducation isolée de la pragmatique chez des sujets cérébrolésés. Brylinski & Delbaere (2018)⁸⁰ et Bellot & Trinquesse (2009)⁸¹ mettent en lumière des liens entre la structure de combinatoire et certaines épreuves de pragmatique et de langage (interprétation d'actes de langage, interprétation de métaphores et niveau de langage élaboré, de manière plus générale).

Ainsi, bien que peu plébiscités, le bilan et la remédiation aux troubles logiques dans le cadre d'une lésion cérébrale ont un véritable intérêt dans les prises en soins orthophoniques.

⁷⁷ (Durel & Leiser, 2009)

⁷⁸ (Legendre Bergeron, 1980)

⁷⁹ (Altenburger, 2016)

⁸⁰ (Brylinski & Delbaere, 2018)

⁸¹ (Bellot & Trinquesse, 2009)

1.4. Hypothèses et objectifs

Dans la continuité du mémoire d'orthophonie de Vincens & Casanovas (2020), nous proposons ainsi de mesurer les performances en combinatoire logique d'une population adulte saine, afin de construire une base de données fiable pouvant servir d'étalonnage à une batterie de tests évaluant les troubles logiques chez des adultes cérébrolésés.

Selon Larivée (1981), Bradmetz (1999), Durel & Leiser (2009) et Brylinski & Delbaere (2018), une certaine part de la population des enfants et adolescents ne parvient pas au stade opératoire formel, et ne développe pas de compétences en combinatoire logico-mathématique. Etant donné ces éléments de la littérature sur la combinatoire s'appliquant aux enfants et adolescents, nous formulons l'hypothèse **H0 que les adultes sans lésion cérébrales ne sont pas forcément opérants en combinatoire.**

André (2015) trouve une corrélation importante entre le niveau en fonctions exécutives et performances en combinatoire⁸² chez des collégiens. Ainsi, un raisonnement hypothético-déductif de bonne qualité serait lié à un fonctionnement exécutif efficace. Ainsi nous formulerons l'hypothèse **H1 : Les sujets ayant des meilleures performances en tests neuropsychologiques auront de meilleures compétences en combinatoire.**

Etant donné le déclin cognitif en lien avec l'âge, nous posons également l'hypothèse **H2 : Les sujets plus jeunes auront de meilleures performances en combinatoire que les sujets âgés.**

Au vu de l'impact du NSC sur les compétences en combinatoire chez des adolescents, nous formons l'hypothèse **H3 : Les sujets adultes au niveau d'études élevé ont de meilleures performances en combinatoire que les sujets au niveau d'études faible.**

⁸² (André, 2015)

2. Méthodologie

2.1. Participants

2.1.1. Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion des sujets dans l'étude étaient les suivants :

- Être francophone
- Avoir un âge compris entre 40 et 85 ans.

2.1.2. Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion des sujets dans l'étude étaient les suivants :

- Antécédents neurologiques ou psychiatriques
- Troubles moteurs au niveau des membres supérieurs : Nous avons préféré exclure les participants ayant des troubles moteurs, car ceux-ci pouvaient impacter la réalisation de certains items de l'ERLA (Evaluation du Raisonnement et du Langage Associé).
- Daltonisme : le Stroop Victoria et les épreuves de l'ERLA (Evaluation du Raisonnement et du Langage Associé) requièrent une bonne perception des couleurs afin de pouvoir être réalisés, nous avons donc préféré éviter tout risque qu'une mauvaise perception des couleurs n'impacte les épreuves présentées.
- Suivi orthophonique antérieur pour des troubles phasiques ou de la cognition mathématique
- Bilinguisme précoce (avec le critère d'exposition importante et répétée à une autre langue que le français pendant l'enfance). Effectivement, selon différents auteurs, le bilinguisme a un impact important sur le cerveau, notamment en ce qui concerne les compétences linguistiques, non-verbales, et les fonctions exécutives⁸³. Il s'agit d'une population qui possède un meilleur entraînement cognitif aux mécanismes d'inhibition et de flexibilité^{84 85}, ainsi les adultes bilingues précoces ont-ils de meilleures performances dans ces domaines⁸⁶. On dénote également une plus grande activation des régions en relation avec la mémoire de travail, la

⁸³ (Bialystok et al., 2012)

⁸⁴ (Massa et al., 2016)

⁸⁵ (Dell'Armi, 2015)

⁸⁶ (Dana-Gordon, 2013)

planification séquentielle de l'action, et la suppression d'actions inappropriées⁸⁷. Nous avons donc préféré exclure une telle population afin que les résultats ne soient pas influencés.

- Performances inférieures à un seuil fixé au préalable aux prétests investiguant les fonctions cognitives (MMSE : <27/30, LAST : <13/15).

2.1.3. Répartition des groupes

Nous avons choisi de nous fier au protocole proposé par Vincens & Casanovas (2020) afin de permettre une mise en lien de nos résultats respectifs. Ainsi, notre population suivait des critères d'exclusion identiques (voir ci-dessus) et était répartie en trois groupes d'âge et deux groupes de niveau socio-culturel (NSC) :

- Classe 1 (C1) : 40 à 55 ans
- Classe 2 (C2) : 56 à 70 ans
- Classe 3 (C3) : 71 à 85 ans
- NSC 1 : scolarité inférieure au baccalauréat
- NSC 2 : Baccalauréat et au-delà.

Nombre sujets	Age	C1	C2	C3	Total
NSC					
NSC1		3	5	3	11
NSC2		13	13	4	30
Total		16	18	7	41

2.2. Matériel utilisé

2.2.1. Description des tests utilisés

2.2.1.1. Mini Mental State Evaluation (MMSE – Version consensuelle GRECO, 1998)

Le Mini Mental State Examination est un test d'administration rapide évaluant un ensemble de fonctions cognitives (orientation temporo-spatiale, facteur d'apprentissage de mots, attention et calcul mental, langage en expression et réception, et praxies constructives). Il permet d'obtenir un score

⁸⁷ (Massa et al., 2016)

général de compétences cognitives⁸⁸. Nous avons choisi d'utiliser l'étalonnage de Kalafat et al (2003) car il s'étend jusqu'à 89 ans⁸⁹. Un score sur 30 points est attribué aux participants et permet de les situer sur un continuum allant de la normalité à la démence sévère.

Dans notre étude, nous avons fait le choix d'exclure les sujets ayant eu des scores inférieurs à 27/30 points, ce score correspondant à une atteinte nulle chez une population saine⁹⁰. Ainsi, 2 Sujets ont été exclus de cette manière.

2.2.1.2. *Language Screening Test (LAST)*

Le LAST est un test de screening langagier rapide, permettant d'avoir une vue d'ensemble de l'intégrité de la fonction langagière d'un sujet. Il comporte une partie expression (dénomination, répétition et énonciation de série automatique) et une partie réception (désignation et exécution d'ordres)⁹¹.

Dans notre étude, nous avons choisi la valeur seuil de 13/15 points, en dessous de laquelle les sujets étaient exclus, afin de garantir l'intégrité de leurs compétences langagières.

2.2.1.3. *Stroop Victoria*

Le Stroop Victoria est un test mesurant les compétences en inhibition. Il comporte trois planches : la première planche C (couleur) présente des points de quatre couleurs différentes que le sujet doit dénommer, la deuxième planche M (mots) comporte des mots neutres écrits de couleurs différentes dont le sujet doit énoncer la couleur, et la troisième planche I (intersection) présente des noms de couleurs avec une graphie de couleur différente de celle qui est écrite. Il est demandé au sujet, non pas de lire les mots, mais d'énoncer la couleur de leur graphie. La difficulté de ce test réside dans le fait que le sujet doit inhiber sa tendance dominante à lire le mot qui lui est présenté, et d'en dénommer plutôt la couleur. Cette tâche est considérée par Miyake et al (2000) comme une tâche d'inhibition prototypique⁹².

Deux indices d'interférence (faible : If ; forte : IF) sont mesurés en comparant les résultats (erreurs et temps) obtenus aux différentes planches ⁹³.

⁸⁸ (Folstein et al., 1975)

⁸⁹ (Kalafat et al., 2003)

⁹⁰ (Folstein et al., 1975)

⁹¹ (Flamand-Roze et al., s. d.)

⁹² (Miyake et al., 2000)

⁹³ (Bayard et al., 2009)

Afin de permettre une comparaison des scores, nous avons réparti les sujets en 3 groupes selon leurs performances :

- SV1 : performances inférieures à la moyenne (< -2 écarts-type)
- SV2 : performances dans la moyenne
- SV3 : performances supérieures à la moyenne ($>+2$ écarts-types)

2.2.1.4. *Alpha Span*

L'alpha Span est un test mesurant les compétences en mémoire de travail, il comporte trois conditions : premièrement, un empan mnésique est mesuré en énonçant des séries de mots d'un nombre croissant que le sujet doit restituer dans l'ordre. Dans un second temps, lors de la condition contrôle, il est demandé au sujet de restituer des listes de x mots dans un ordre sériel. Cette condition est divisée en deux parties, la première a lieu avant la condition 3 (rappel alphabétique), et la seconde après. Enfin, le sujet doit remettre en ordre alphabétique les mots des listes qui lui sont proposées. Une note sur 10 est attribuée aux sujets en fusionnant les scores obtenus aux différentes composantes du test, et un indice de chute est mesuré.

Afin de permettre une comparaison des scores, nous avons réparti les sujets en 3 groupes selon leurs performances :

- AS1 : performances inférieures à la moyenne (< -2 écarts-type)
- AS2 : performances dans la moyenne
- AS3 : performances supérieures à la moyenne ($>+2$ écarts-types)

2.2.1.5. *Trail Making Test (TMT)*

Le Trail Making Test est utilisé pour mesurer les compétences en flexibilité. Dans la condition contrôle, il est demandé au sujet de relier différents nombres dans l'ordre croissant (de 1 à 25), le plus rapidement possible, sans faire d'erreur, et sans que son stylo ne se soulève de la feuille. Dans la condition de test, il doit suivre les mêmes consignes en reliant cette fois alternativement un chiffre, puis une lettre, dans un ordre croissant (de 1 à 13 et de A à L). Le temps est mesuré et les erreurs, persévératives ou non, sont notées et participent à l'évaluation.

Afin de permettre une comparaison des scores, nous avons réparti les sujets en 3 groupes selon leurs performances :

- TMT1 : performances inférieures à la moyenne (< -2 écarts-type)
- TMT2 : performances dans la moyenne
- TMT3 : performances supérieures à la moyenne (>+2 écarts-types)

2.2.1.6. Evaluation du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA) – épreuves de combinatoire

L'ERLA (Évaluation du Raisonnement et du Langage Associé) est une batterie de test constructiviste utilisée en orthophonie pour évaluer le versant logique des troubles de la cognition mathématique (AMO 10.2)⁹⁴. Elle veut « *comprendre où en est le patient dans sa construction de sens* »⁹⁵. Nous avons, dans le cadre de cette étude, sélectionné les épreuves de combinatoire suivantes : permutations, combinaisons et arrangements d'un ensemble. Pour ces différentes épreuves, il était demandé au participant de trouver toutes les différentes possibilités de disposition de « tuiles » ou de jetons selon la consigne donnée. Après chaque énonciation de consigne, il était demandé au sujet de fournir un pronostic, et d'anticiper le nombre de lignes (de possibilités) qui selon lui, pourraient être posées. Cette étape d'anticipation est importante, car elle permet de rendre compte de l'organisation spontanée de chaque participant.

Cotation des épreuves de combinatoire : un barème adapté

La batterie de test de l'ERLA proposant une analyse et une répartition en fonction de repères développementaux et non pas selon une notation quantitative des performances des sujets, nous avons décidé, dans le cadre de cette étude, de proposer un barème adapté à la diversité des conduites repérées chez les sujets, en nous inspirant à la fois des observations qualitatives requises par l'ERLA⁹⁶ et des critères de notation proposés par S. Larivée⁹⁷. Nous nous sommes également basés sur le mémoire d'orthophonie de E. André⁹⁸ pour les critères qualitatifs.

Il est à noter que cette proposition de grille d'évaluation n'a pas de valeur diagnostique, et qu'elle ne possède qu'une utilité dans le cadre de la comparaison quantitative des résultats obtenus par les participants à l'étude.

⁹⁴ (Nomenclature générale des actes professionnels, s. d.)

⁹⁵ (Legeay et al., 2013)

⁹⁶ (Legeay et al., 2013)

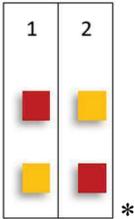
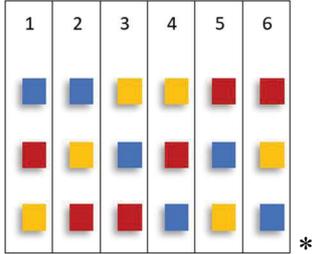
⁹⁷ (Larivée, 1981)

⁹⁸ (André, 2015)

Nous avons ainsi retenu une double cotation, qualitative et quantitative, pour chaque sous-épreuve de l'ERLA que nous avons présentée aux sujets. Ainsi la répartition des items décrits par la suite correspond-elle à cette grille adaptée, et non aux items d'origine de l'ERLA. Ce type de cotation nous semblait également plus approprié pour des adultes, c'est pourquoi nous avons choisi de la retenir.

(Cf. annexes)

Permutations (P)Tuiles

<p><u>Exemple</u> : Il s'agissait de rechercher ensemble comment quatre tuiles de deux couleurs différentes pouvaient être disposées afin de figurer l'ensemble des possibilités. (Nombre de possibilités attendu pour 2 couleurs : 4)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Réalisation type :</i></p> 
<p><u>Item 1P</u> : Des tuiles de trois couleurs différentes étaient présentées aux sujets avec la consigne d'en trouver toutes les possibilités d'agencement par groupes de trois. (Nombre de possibilités attendu : 6)</p> <p>Il était également demandé aux sujets d'anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Réalisation type :</i></p> 
<p><u>Item 2P</u> : Des tuiles de quatre couleurs différentes étaient présentées aux sujets avec la consigne d'en trouver toutes les possibilités d'agencement par groupes de quatre. (Nombre de possibilités attendu : 24).</p> <p>Il était également demandé aux sujets d'anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.</p> <p style="text-align: center;"><i>Réalisation type :</i></p>	

* Bien que les items de l'ERLA soient réalisés horizontalement sous forme de lignes, nous avons pris parti de les représenter verticalement sous forme de colonnes dans un souci de présentation.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

*

Item 3P : (sous réserve de réussite à l’item 2) Il était demandé aux sujets de trouver combien de possibilités pouvaient être réalisées avec 5 couleurs (pas de manipulation).

Item 4P : (sous réserve de réussite à l’item 2) Il était demandé aux sujets de trouver combien de possibilités pouvaient être réalisées avec 6 couleurs (pas de manipulation).

Item 5P : (sous réserve de réussite à l’item 2) Il était demandé aux sujets de trouver combien de possibilités pouvaient être réalisées avec 7 couleurs (pas de manipulation).

Combinaisons (C) Tuiles et jetons

Item 1C : Des jetons de six couleurs différentes étaient présentés aux sujets avec la consigne d’en trouver toutes les possibilités d’agencement par groupes de deux, sans tenir compte de l’ordre (AB = BA = une possibilité). (Nombre de possibilités attendu : 15).

Il était également demandé aux sujets d’anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.

Réalisation type :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

*

* Bien que les items de l’ERLA soient réalisés horizontalement sous forme de lignes, nous avons pris parti de les représenter verticalement sous forme de colonnes dans un souci de présentation.

Item 2C : Des tuiles de quatre couleurs différentes étaient présentées aux sujets avec la consigne d'en trouver toutes les possibilités d'agencement par groupes de trois sans tenir compte de l'ordre (ABC = CBA = BAC = une possibilité). (Nombre de possibilités attendu : 4).

Il était également demandé aux sujets d'anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.

Réalisation type :

1	2	3	4
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

*

Arrangements (A)Tuiles

Item 1A : Des tuiles de quatre couleurs différentes étaient présentées aux sujets avec la consigne d'en trouver toutes les possibilités d'agencement par groupes de trois en tenant compte de l'ordre (ABC et BAC pouvaient être posés). (Nombre de possibilités attendu : 24)

Il était également demandé aux sujets d'anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.

Réalisation type :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

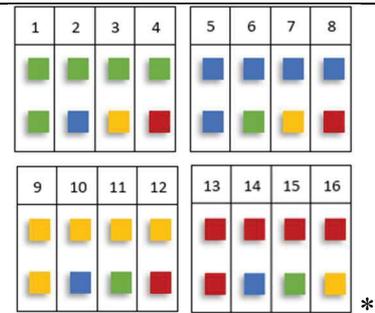
*

Item 2A : Des tuiles de quatre couleurs différentes étaient présentées aux sujets avec la consigne d'en trouver toutes les possibilités d'agencement par groupes de deux en tenant compte de l'ordre (AB et BA pouvaient être posés), et de la possibilité de mettre deux fois la même couleur. (Nombre de possibilités attendu : 16).

Réalisation type :

* Bien que les items de l'ERLA soient réalisés horizontalement sous forme de lignes, nous avons pris parti de les représenter verticalement sous forme de colonnes dans un souci de présentation.

Il était également demandé aux sujets d'anticiper le nombre exact de possibilités avant de manipuler le matériel.



Item 3A : Il était demandé aux sujets de trouver de tête combien de possibilités pouvaient être réalisées en posant des groupes de deux parmi des tuiles de 5 couleurs en tenant compte de l'ordre (AB et BA pouvaient être posés) et de la possibilité de mettre deux fois la même couleur. (Nombre de possibilités attendu : 25). (Pas de manipulation).

2.3. Procédure générale

Dans un premier temps, une lettre d'information et un formulaire de consentement étaient transmis aux sujets participants.

Dans un deuxième temps, un court questionnaire d'inclusion dans l'étude ainsi que les épreuves du Mini Mental State Examination (MMSE), du Language Screening Test (LAST), du Stroop Victoria, de l'Alpha Span et du Trail Making Test (TMT) étaient proposés aux participants.

Enfin, lors d'une seconde passation, séparée de la première par un jour ou plus, l'ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé) était présentée aux sujets. Nous avons souhaité diviser les passations en deux étapes afin de limiter la fatigabilité des participants, et éviter ainsi un biais induit par une passation trop longue.

Cette deuxième passation était également filmée et enregistrée afin de permettre une cotation à distance du test.

Les différentes passations étaient standardisées et identiques pour chacun des participants, cependant nous prenions soin de faire en sorte que chaque consigne de l'ERLA soit comprise. Vincens & Casanovas (2020) ont exprimé leurs doutes quant aux performances de certains sujets qui avaient supposément mal compris la consigne donnée lors de l'évaluation de la classification. Afin de limiter

**Bien que les items de l'ERLA soient réalisés horizontalement sous forme de lignes, nous avons pris parti de les représenter verticalement sous forme de colonnes dans un souci de présentation.*

ce biais, nous nous efforcions de répéter ou d'explicitier les consignes si cela était nécessaire. De plus, un exemple de permutation était prévu dans la passation de l'épreuve afin d'aider à clarifier l'exercice.

2.4. Tests statistiques utilisés

Afin de rechercher une corrélation entre les moyennes quantitatives et qualitatives des participants à chacune des épreuves, nous avons utilisé le test statistique du T de Student.

Dans le but de chercher une corrélation entre les variables d'âge et de niveau socio-culturel et les scores en combinatoire, nous avons utilisé le test statistique d'analyse de la variance ANOVA. Pour les épreuves qui obtenaient une valeur P inférieure à 0,05 (et donc statistiquement significative), nous avons également utilisé le test T de Student afin de rechercher un impact significatif d'une des variables sur les scores en combinatoire.

3. Résultats

3.1. Résultats généraux par épreuves de l'ERLA : analyses quantitative et qualitative

En utilisant la grille de cotation élaborée dans le cadre de ce mémoire, nous avons obtenu une note quantitative notée sur 50, et une note qualitative notée sur 50 également. Nous avons calculé une moyenne ainsi qu'un écart-type pour chaque épreuve, dans les composantes quantitative et qualitative que nous avons séparées dans la cotation afin de permettre une comparaison (Cf. annexe 4).

Pour rappel, la notation quantitative comporte le décompte des nombres de possibilités réalisées, tandis que la notation qualitative analyse plus finement les comportements associés à la manipulation (anticipation, type de stratégie, erreurs commises).

Etant donné l'échantillonnage restreint de notre étude (N=41), peu de patients avaient un score Z en zone pathologique (-2 écarts-type de la moyenne) ou en zone de performance supérieure (+2 écarts-type), et les résultats obtenus étaient pour la majorité dans la moyenne, calculée sur les scores de l'échantillon en lui-même.

Voici les résultats généraux que nous avons pu extraire :

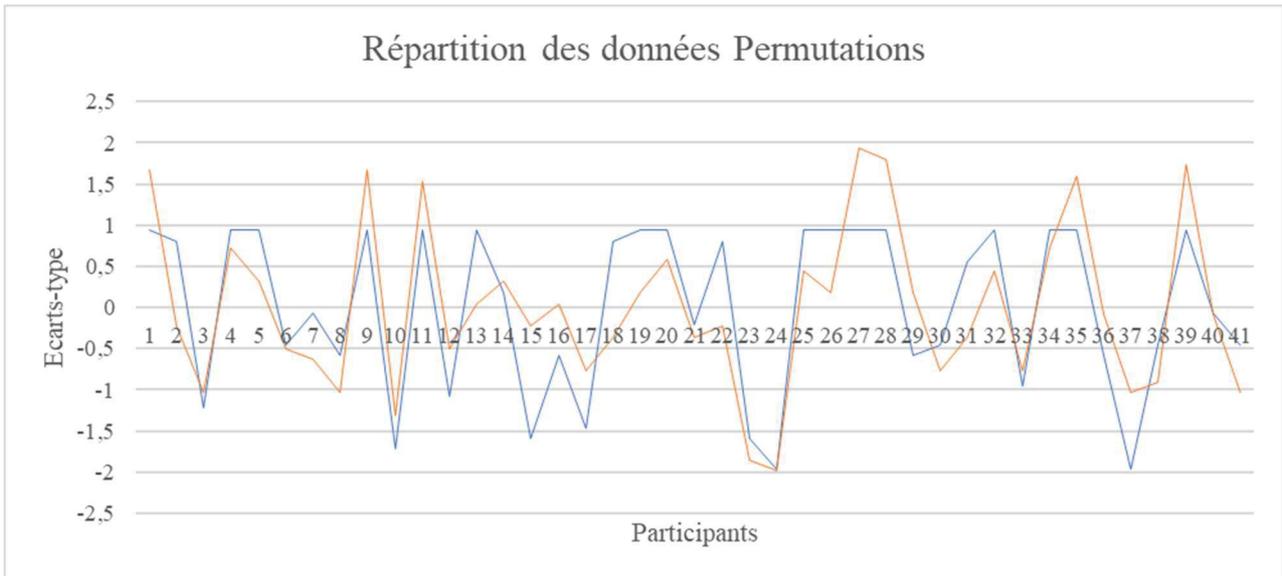
<i>Notation :</i>	Moyenne générale		Ecart-type	
	<i>Quantitative</i>	<i>Qualitative</i>	<i>Quantitative</i>	<i>Qualitative</i>
Permutations	37,68	14,2	13,19	18,47
Combinaisons	47,36	17,16	4,16	16,06
Arrangements	42,59	27,51	9,86	14,64

Nous pouvons ainsi observer que c'est l'épreuve de permutations qui possède les moyennes les plus basses, ceci peut être lié à la découverte du matériel de l'ERLA. C'est l'épreuve de combinaisons qui est la mieux réussie en quantitatif, tandis que l'épreuve d'arrangements possède la moyenne qualitative la plus élevée. Ceci peut être lié à un effet d'apprentissage, étant donné que cette épreuve fut la dernière présentée aux sujets. La notion mathématique de carré d'un nombre était également la plus familière aux participants, et nombre d'entre eux n'ont eu aucun mal à la trouver.

Etant donné la séparation des notations quantitative et qualitative, nous avons trouvé intéressant de comparer ces deux types de performances au moyen du test T de Student, ce que nous exposerons dans la partie suivante.

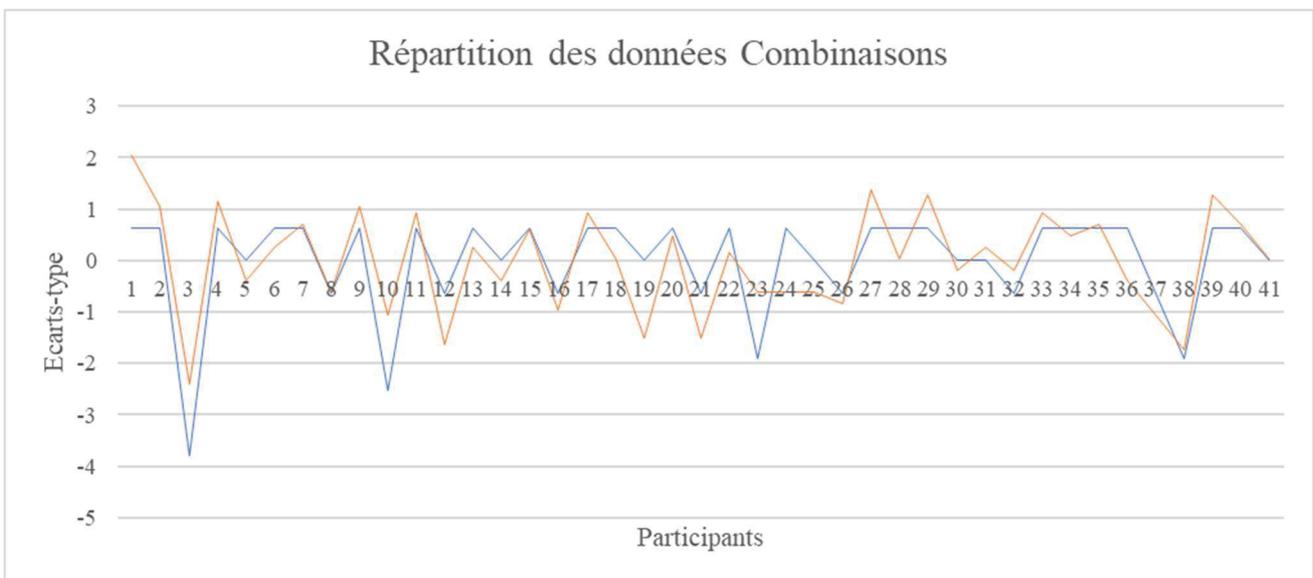
3.1.1. A l'épreuve de permutations

Pour les permutations, il n'y a pas de lien statistique entre les performances quantitative et qualitative. Le test T de Student produit une P valeur inférieure à 0,05 ($9.0479882132111E-16$), signifiant que la moyenne des différences entre ces deux types de scores est significativement différente de 0.



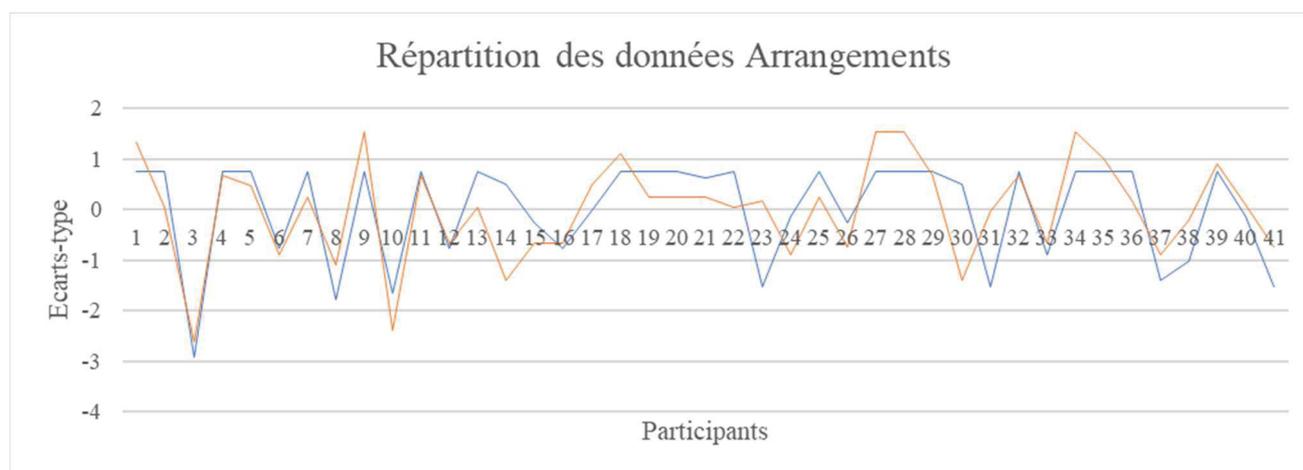
3.1.2. A l'épreuve de combinaisons

Pour les combinaisons, le test T de Student produit également une P valeur inférieure à 0,05 ($P=1.0956159778531E-17$), signifiant que la moyenne des différences entre scores quantitatifs et qualitatifs est significativement différente de 0, il n'y a donc pas de lien statistique entre les performances en quantitatif et en qualitatif.



3.1.3. A l'épreuve d'arrangements

Pour les arrangements, les données également soumises au test T de Student produisent une P valeur inférieure à 0,05 ($P= 8.6294155879311E-12$). Là aussi, la moyenne des différences entre scores en quantitatif et qualitatif est significativement différente de 0. Il n'y a donc pas non plus de lien statistique entre les performances en quantitatif et en qualitatif.



3.1.4. Synthèse partielle

Malgré l'absence de corrélation statistique entre les performances quantitatives et qualitatives des sujets, on peut observer une certaine congruence dans les performances d'un même participant : pour une personne ayant de bonnes performances (c'est-à-dire supérieures à 0) en qualitatif, on remarquera également de bonnes performances en quantitatif, et ce peu importe l'opération combinatoire testée. Inversement, un sujet ayant des scores chutés (c'est-à-dire inférieurs à 0) en quantitatif aura généralement des scores chutés en qualitatif.

De manière générale, l'épreuve de permutations est la moins réussie des trois, ceci peut être dû à la découverte du matériel et des consignes, car elle était la première à être proposée aux sujets. Inversement, les deux épreuves suivantes de combinaisons et arrangements sont mieux réussies, cette augmentation de la moyenne peut être mise en lien avec un éventuel effet d'apprentissage, dont les participants ont pu bénéficier. Par exemple, les sujets adultes ont souvent trouvé similaires les épreuves de permutations et d'arrangements (ce qui est une bonne intuition, puisque pour rappel, les arrangements sont la synthèse des opérations de combinaisons et de permutations). Ils étaient alors capables de généraliser les stratégies utilisées pour trouver le système en permutations, pour l'appliquer sans tâtonnements au système d'arrangements.

On peut remarquer que l'épreuve de combinaisons est la mieux réussie : l'effort effectué pour trouver les bonnes combinaisons était sans doute plus aisé du fait du faible nombre de possibles à découvrir

(en anticipation comme en manipulation), au contraire des deux épreuves précédentes. Souvent, la réalisation était d'emblée bonne avec une stratégie adéquate, malgré une anticipation approximative. De plus, ces performances peuvent sans doute être expliquées par l'effet d'apprentissage que les sujets ont pu expérimenter. Notre population s'est montrée capable, dans cette épreuve, d'appliquer les lois découvertes précédemment dans cette dernière partie des tests.

3.2. Analyse des résultats généraux de l'ERLA : validation de l'hypothèse H0

Etant donné les éléments de la littérature sur la combinatoire s'appliquant aux enfants et adolescents, nous avons formulé l'hypothèse H0 que les adultes sans lésion cérébrale ne sont pas forcément opérants en combinatoire.

En évaluant la combinatoire, nous recherchions cependant chez l'adulte sans lésion cérébrale une capacité à rechercher une méthode exhaustive, efficace, systématique, et généralisée dans les épreuves proposées¹⁰³, une procédure réalisée sans tâtonnement, avec la conscience d'un système global, de liens entre les possibilités réalisées, en somme : une organisation conceptuelle aboutie, pour trouver toutes les variations possibles d'une situation.

Or, seule une minorité de sujets a répondu à ces prérogatives. Nous avons choisi de nous reposer sur les critères suivants afin d'établir l'atteinte d'une combinatoire logique a minima :

- Intégrité de la stratégie (score minimum de 5/5 à « stratégie ») (noté « stratégie »)
- Intégralité des possibilités trouvées pour chaque item (sauf erreurs d'inattention) (noté « propositions »)

Voici les résultats de notre population (N = 41) si l'on ne prend en compte que ces deux critères de stratégie et de nombre de possibilités :

<i>Epreuve :</i>	Stratégie	Propositions	Stratégie + propositions
<i>Permutations</i>	17% N = 7	39% N = 16	17% N = 7
<i>Combinaisons</i>	7%	66%	7%

¹⁰³ (Piaget, 1970)

	N = 3	N = 27	N = 3
<i>Arrangements</i>	36%	51%	32%
	N = 15	N = 21	N = 13

Nous voyons ici que parmi les participants, seuls 17% en permutations, 7% en combinaisons et 32% en arrangements obtiennent un score maximal à ces éléments. Pour obtenir un tel score, les sujets devaient avoir trouvé l'intégralité des possibles à chaque item en utilisant une stratégie optimale. Selon nos critères, ils sont donc les seuls à être opérants en combinatoire. Etant donné qu'ils ne représentent qu'une fraction de notre échantillon (inférieure à la moitié de notre échantillon à chaque fois), nous pouvons **valider notre hypothèse H0 : les adultes sans lésion cérébrales ne sont pas forcément opérants en combinatoire.**

3.3. Résultats par épreuves en fonction des performances en fonctions exécutives : validation de H1

Nous analyserons dans cette partie les performances obtenues aux différentes épreuves de l'ERLA en fonction des scores réalisés en tests neuropsychologiques, en tentant de répondre à l'hypothèse H1 : Les sujets ayant des meilleures performances en tests neuropsychologiques auront de meilleures compétences en combinatoire.

Au moyen des différents étalonnages des tests neuropsychologiques utilisés, nous avons réparti les participants dans 3 groupes de performances : supérieur, moyen et déficitaire, notés respectivement S, M et D dans les tableaux suivants. Nous avons ainsi tenté de mettre en relation les scores de ces différents groupes avec ceux de l'ERLA.

La répartition des participants est la suivante :



Ainsi, au Stroop Victoria, 6 sujets ont eu des scores les plaçant en zone déficitaire, 27 se situent dans la moyenne et 8 ont obtenu des scores en zone supérieure. A l'Alpha Span, 1 sujet se situe en zone déficitaire, 39 sont dans la moyenne et 1 a obtenu des scores supérieurs. Au TMT, 10 se situent en zone déficitaire, 30 sont dans la moyenne et 1 obtient des scores supérieurs.

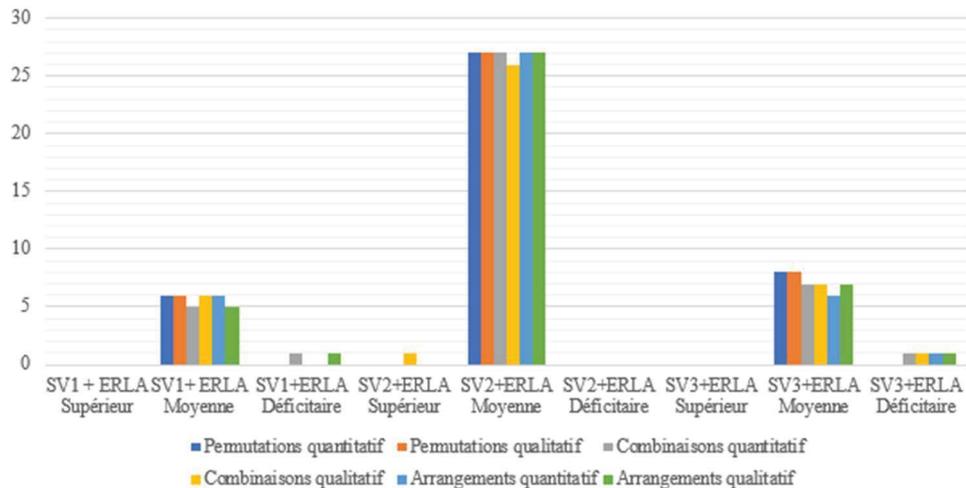
Il est intéressant de noter que la plupart des sujets se situent dans la moyenne à ces trois tests. L'Alpha Span évaluant la mémoire de travail comporte le plus petit quota de sujets en zone déficitaire, tandis que près du quart de notre échantillon a des scores pathologiques au TMT évaluant la flexibilité. Le Stroop Victoria, étudiant les compétences d'inhibition, comporte le plus de sujets en zone supérieure. Notre échantillon possède ainsi des compétences en fonctions exécutives généralement dans la moyenne, avec un certain pourcentage de sujets ayant des performances supérieures en inhibition (19%), et inférieures en flexibilité (24%).

En souhaitant comparer les performances en fonctions exécutives et les performances en combinatoire, nous partons de l'hypothèse H1 que les participants ayant de meilleurs scores dans l'une des épreuves auraient également de meilleures performances dans l'autre, et inversement, les participants ayant des scores déficitaires en fonctions exécutives auraient des scores déficitaires en combinatoire. Nous comparerons dans les prochaines parties les scores obtenus au Stroop Victoria, à l'Alpha-Span et au Trail Making Test et les scores obtenus à l'ERLA.

3.3.1. Comparaison avec les performances au Stroop Victoria

Nous avons analysé les performances pour chacun de nos 41 sujets en les répartissant dans différents sous-groupes, en fonction de leur groupe de performance au Stroop Victoria (déficitaire = SV1, moyenne = SV2, supérieur = SV3) et de leur groupe de performance à l'ERLA (déficitaire = D, moyenne = M, supérieur = S). Le nombre de sujets dans chaque épreuve de l'ERLA (cotations quantitative et qualitative) est représenté sous la forme d'un trait de couleur. Cette répartition est illustrée dans le graphique suivant :

Effectif des groupes de scores ERLA en fonction des groupes de scores Stroop Victoria



Ainsi, si l'on regarde la répartition générale des effectifs dans chacun des sous-groupes de performances, on peut remarquer que la plupart des sujets se situent dans la moyenne, tant en inhibition qu'en combinatoire. Il existe de plus une certaine homogénéité des répartitions en fonction des différentes épreuves de l'ERLA.

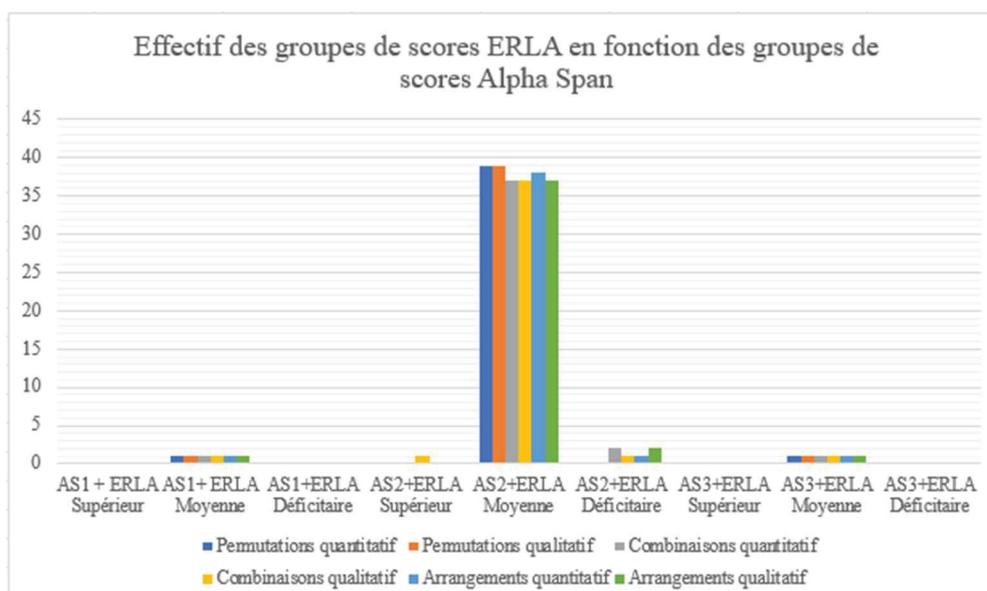
Si nous regardons ces résultats plus en détail, nous pouvons observer que dans la majeure partie des cas, les données restent principalement dans la moyenne en combinatoire, indépendamment des scores au Stroop Victoria. Dans le groupe qui a obtenu des performances supérieures à la moyenne au Stroop Victoria (SV3), 1 sujet a obtenu des performances déficitaires à l'ERLA en arrangements et en combinaisons. Il s'agit du seul score inattendu, le reste d'entre eux étant plus consistants et proches de ce à quoi nous nous attendions.

Cependant, les résultats observés ne mettent en lumière aucun lien entre une épreuve d'inhibition et les compétences en combinatoire. Les sujets ayant eu de bons scores à une épreuve n'avaient pas forcément de bonnes performances aux épreuves de l'ERLA, et réciproquement. De même, des scores déficitaires au Stroop Victoria ne sont pas synonymes de scores déficitaires à l'ERLA. Nous supposons que notre échantillonnage restreint ne suffirait pas à trouver de corrélation entre compétences en inhibition et combinatoire, et qu'un nombre plus large de participants pourrait éventuellement montrer un lien entre ces deux types de performances (cf. annexe 5).

3.3.2. Comparaison avec les performances à l'Alpha Span

De la même manière, nous avons comparé les performances pour chacun de nos 41 sujets en les répartissant dans différents sous-groupes, en fonction de leur groupe de performance à l'Alpha Span (déficiaire = AS1, moyenne = AS2, supérieur = AS3) et de leur groupe de performance à l'ERLA

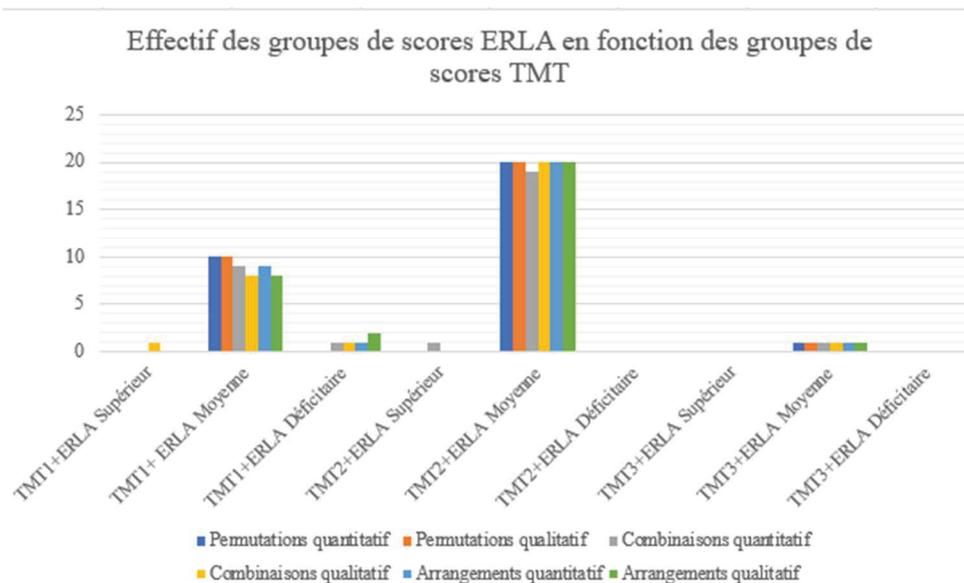
(défictaire = D, moyenne = M, supérieur = S). Le nombre de sujets dans chaque épreuve de l'ERLA (cotations quantitative et qualitative) est représenté sous la forme d'un trait de couleur. Cette répartition est illustrée dans le graphique suivant :



De la même manière, il est difficile de mettre en évidence une corrélation entre les scores à l'Alpha Span et aux épreuves de l'ERLA. La majorité des participants ayant obtenu des scores les situant dans la moyenne aux deux tests, il n'est pas possible d'extraire de lien particulier entre une épreuve de mémoire de travail et les compétences en combinatoire. On observe que les sujets ayant eu de bons scores en mémoire de travail n'avaient pas forcément de bonnes performances en combinatoire, et réciproquement. De plus, des scores défictaires à l'Alpha Span n'étaient pas synonymes de scores défictaires à l'ERLA. Comme pour le point précédent, nous formulons l'hypothèse qu'un nombre plus important de sujets permettrait de mettre en lumière un lien entre les deux performances (cf. annexe 6).

3.3.3. Comparaison avec les performances au TMT

Dans cette dernière partie, nous avons comparé les performances pour chacun de nos 41 sujets en les répartissant dans les mêmes sous-groupes, en fonction de leur groupe de performance au TMT (défictaire = TMT1, moyenne = TMT2, supérieur = TMT3) et de leur groupe de performance à l'ERLA (défictaire = D, moyenne = M, supérieur = S). Identiquement, le nombre de sujets dans chaque épreuve de l'ERLA (cotations quantitative et qualitative) est représenté sous la forme d'un trait de couleur. Cette répartition est illustrée dans le graphique suivant :



Nous observons ici une répartition plus hétérogène des sujets, avec cependant une grande proportion de l'échantillon se situant dans la moyenne à l'ERLA, indépendamment des scores au TMT, et ce dans toutes les épreuves de l'ERLA. Seul un sujet obtient un score inattendu, le plaçant dans le groupe déficientaire au TMT et dans le groupe supérieur à l'ERLA lors d'une épreuve isolée (Combinaisons qualitatives). Le reste des performances suit la tendance à la moyenne que nous avons évoquée plus tôt, avec une grande majorité de sujets se situant dans la moyenne en combinatoire. Ce constat n'est pas surprenant, étant donné notre échantillonnage réduit.

La comparaison des résultats observés au TMT et à l'ERLA n'évoque aucun lien particulier entre une épreuve de flexibilité et les compétences en combinatoire. Ici aussi, les sujets ayant eu de bons scores au TMT n'avaient pas forcément de bonnes performances à l'ERLA, et réciproquement (cf. annexe 7).

3.3.4. Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H1

Au vu des données obtenues lors de la passation des tests neuropsychologiques et de l'ERLA, il est impossible de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse H1 « Les sujets ayant des meilleures performances en tests neuropsychologiques auront de meilleures compétences en combinatoire ».

Cette incertitude peut être causée par l'insuffisance du nombre de sujets considérés. Le délai entre les deux passations peut également être source d'hétérogénéité dans les résultats (fatigue plus importante des participants en fonction des jours, événements personnels, niveau de vigilance...). De plus, il est également à prendre en compte que ces épreuves neuropsychologiques et les épreuves de l'ERLA sont issues de champs d'études très différents, ainsi, si dans les premières on note les scores sous forme de données mesurables (temps, réponses), dans les secondes nous avons notamment observé les stratégies de résolution au sein d'une analyse plus qualitative, qui correspond à la moitié de la note finale. La

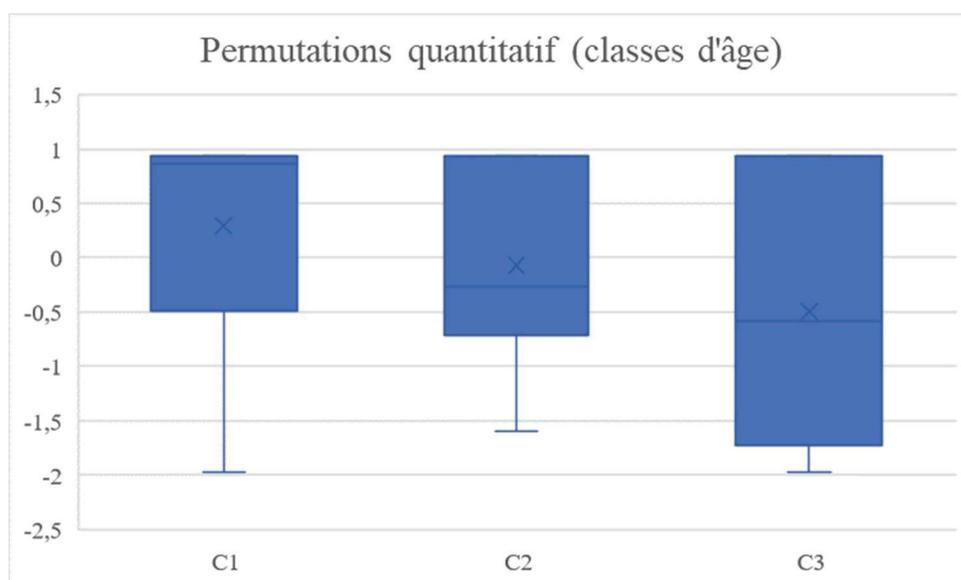
différence entre ces deux types d'analyse peut possiblement expliquer l'hétérogénéité des scores et la difficulté de lier les résultats entre ces deux types d'épreuves.

3.4. Résultats par épreuve de l'ERLA en fonction de l'âge : validation de H2

Nous analyserons dans cette partie les performances obtenues aux différentes épreuves de l'ERLA en fonction de l'âge, en tentant de répondre à l'hypothèse H2 : les sujets plus jeunes auront de meilleures performances en combinatoire que les sujets âgés.

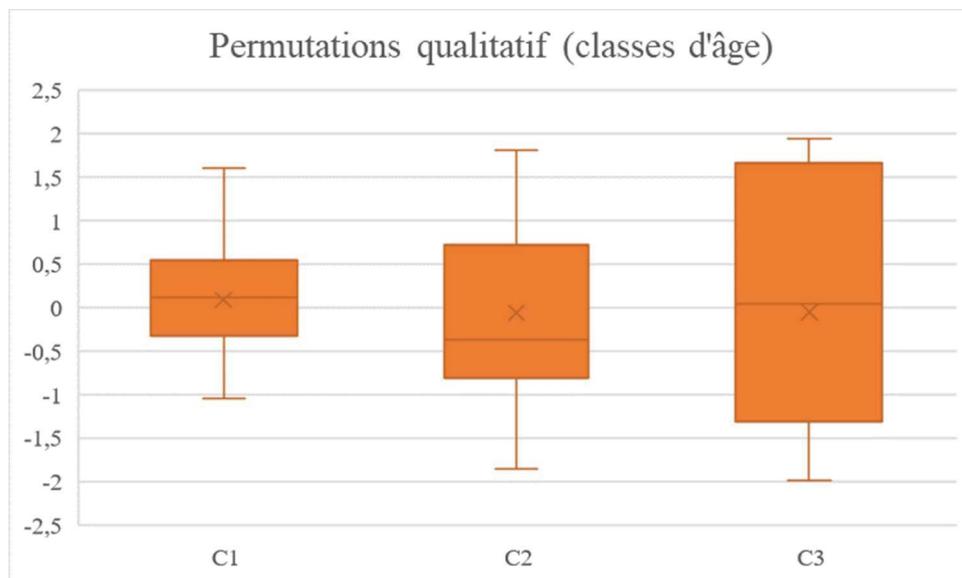
Nous avons choisi d'analyser les résultats par âge de manière globale, sans tenir compte du niveau socio-culturel des sujets, car certains groupes ne possédaient pas un effectif suffisant pour permettre d'interpréter les données recueillies.

3.4.1. Permutations



Pour le score quantitatif en **permutations** (classes d'âge), la classe d'âge C1 obtient les meilleurs scores : elle possède effectivement la moyenne et la médiane les plus hautes. La répartition interquartile des performances est plus homogène que les autres classes d'âge. C2 possède une médiane nettement inférieure à celle de C1 et une moyenne plus basse. C'est C3 qui possède la moyenne et la médiane les plus faibles des trois groupes d'âge, ainsi que l'intervalle interquartile le plus grand, témoignant d'une répartition plus hétérogène des données, réparties sur l'ensemble de la plage de valeurs située entre +1 et -1,5 écarts-type (ET). Ainsi, à première vue, la classe d'âge de 40-55 ans obtient les meilleures performances en permutations quantitatives.

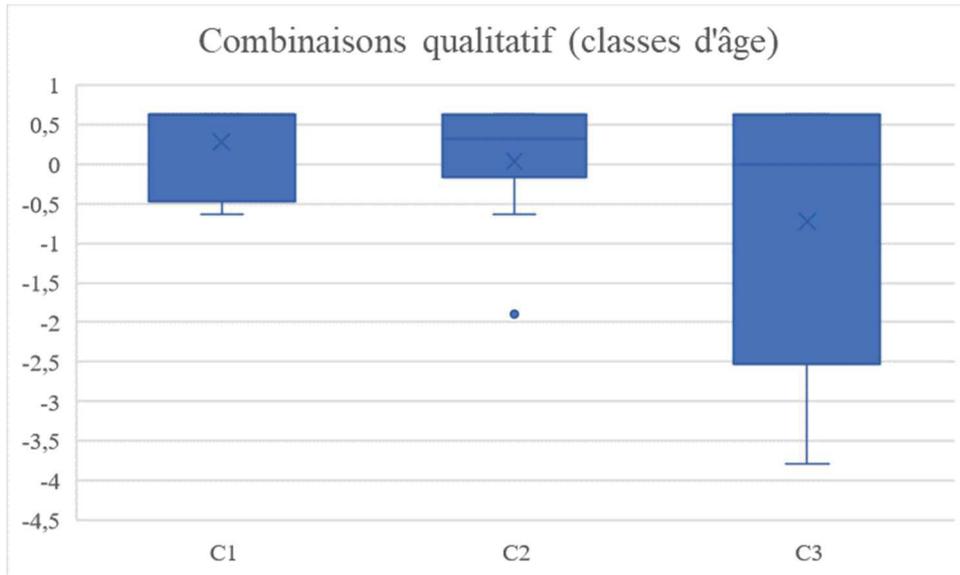
Pour le score quantitatif en permutations (classes d'âge), l'analyse des variances produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.20880636101194$), ce qui ne permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.



Pour le score qualitatif en **permutation** (classes d'âge), on observe une répartition intéressante des données, avec un net impact de l'âge sur l'hétérogénéité des performances. C1 obtient la répartition la plus homogène, tandis que C3 possède la plus hétérogène, contenant à la fois les scores les meilleurs (centile 75 bien plus haut que C2 et C3) et les plus faibles (centile 25 bien plus bas que C2 et C3). Ici, c'est C1 qui possède les moyenne et médiane les plus hautes. Les moyenne et médiane de C3 sont toutefois assez proches de C1. C'est C2 qui, ici, possède les scores les plus bas. Ainsi, c'est également la classe d'âge de 40-55 ans qui obtient les meilleures performances en permutations qualitatif.

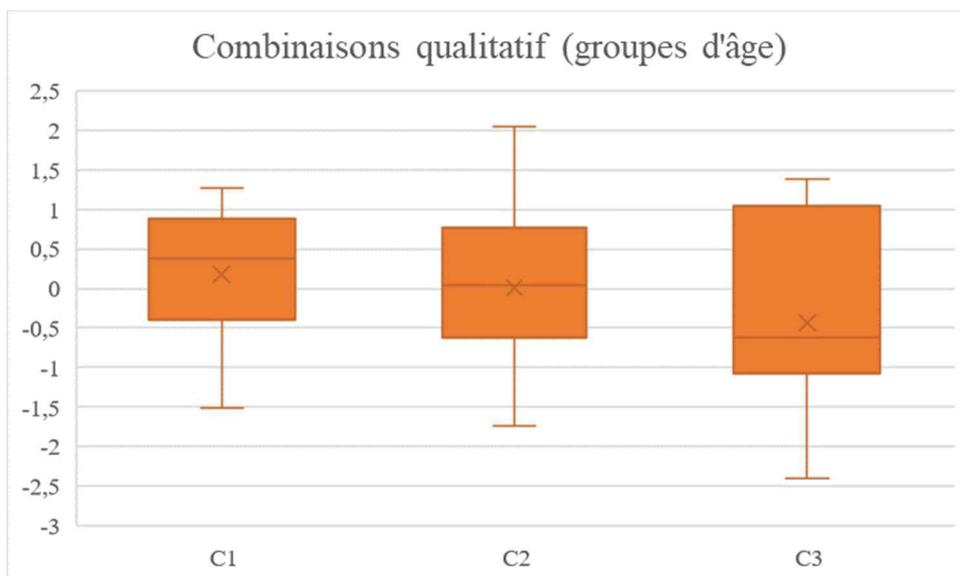
Ainsi, pour le score qualitatif en permutations (classes d'âge), l'analyse des variances aboutit à une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.90489018392832$). Nous ne pouvons donc pas déceler une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.

3.4.2. Combinaisons



Pour le score quantitatif en **combinaisons** (classes d'âge), on observe que les niveaux de performance baissent avec l'âge : la médiane et la moyenne en C1 sont les plus hautes, et décroissent jusqu'en C3 où elles sont au plus bas. Les performances en C2 sont les plus homogènes, avec un intervalle interquartile très fin, tandis que les performances sont plus dispersées en C3. Ici aussi, la classe d'âge de 40-55 ans obtient les meilleures performances en combinaisons quantitatif.

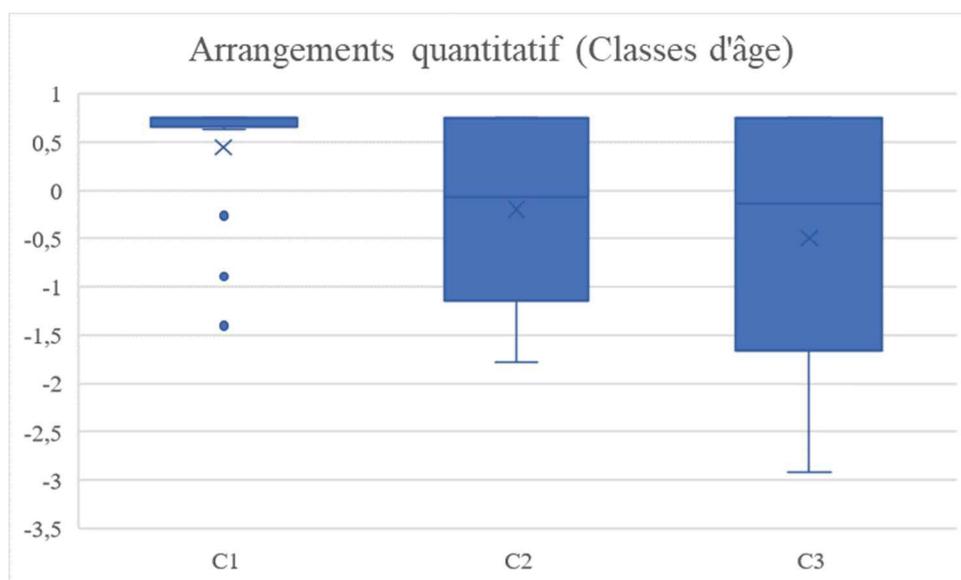
Pour le score quantitatif en combinaisons (classes d'âge), l'analyse des variances produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.083304629126168$), ce qui ne permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.



Pour le score qualitatif en **combinaisons** (classes d'âge) on observe également de meilleures performances en C1 (médiane et moyenne plus hautes) et de moins bonnes en C3 (moyenne et médiane plus basses). Les données sont plus disséminées en C3 qu'en C1. Comme auparavant, la classe d'âge de 40-55 ans obtient les meilleures performances en combinaisons qualitatif.

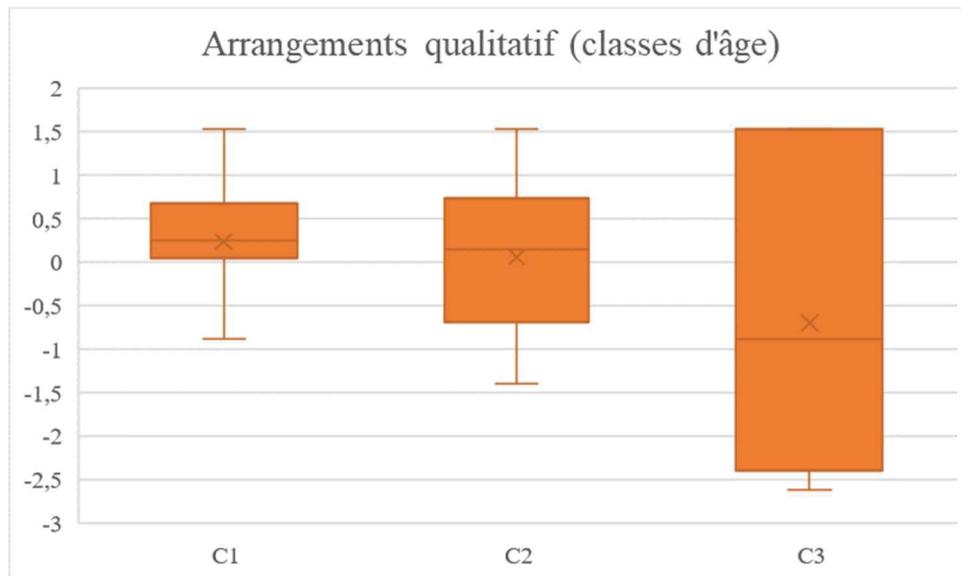
Pour le score qualitatif en **combinaisons** (classes d'âge), l'analyse des variances produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.41544773376687$), ce qui ne permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.

3.4.3. Arrangements



Pour le score quantitatif en **arrangements** (classes d'âge), les moyenne et médiane sont plus hautes en C1, et baissent progressivement avec l'âge. Plusieurs scores aberrants en C1 font baisser la moyenne et la médiane, mais celles-ci restent supérieures à celles des autres classes d'âge. L'intervalle interquartile témoigne de scores relativement homogènes en C1, et de performances plus disséminées en C3. De ce point de vue, C2 se situe entre les deux. La classe d'âge de 40-55 ans obtient à nouveau les meilleurs scores en arrangements quantitatif.

L'analyse des variances pour le score quantitatif en arrangements (classes d'âge) produit une p valeur proche, mais néanmoins supérieure à 0,05 ($p = 0.057568120130686$), ce qui ne nous permet donc pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.



Pour le score qualitatif en **arrangements** (classes d'âge), on observe que les moyennes et les médianes s'abaissent avec l'âge. Ces indicateurs restent cependant proches en C1 et C2, bien qu'ils soient supérieurs en C1. On observe également une répartition des données de plus en plus hétérogène jusqu'à C3, qui possède l'intervalle interquartile le plus large, recouvrant une plage de scores allant de +1,5 ET à -2,6 ET. C'est également la classe d'âge de 40-55 ans qui possède les meilleurs scores en arrangements qualitatif.

Pour le score qualitatif en arrangements (classes d'âge), l'analyse des variances produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.10935568983959$), ce qui ne permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différentes classes d'âge à cette épreuve.

3.4.4. Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H2

On remarque deux effets de l'âge sur les performances des sujets dans ces différentes épreuves, tant en notation quantitative que qualitative :

- Premièrement, nous notons une dispersion des performances avec l'augmentation de l'âge. Effectivement, l'intervalle interquartile est systématiquement plus large en C3, chez les sujets les plus âgés (entre 71 et 85 ans), alors qu'il est bien plus fin chez les sujets en C1, chez les sujets plus jeunes (entre 40 et 55 ans). Cette dispersion des performances pourrait être un effet du niveau socio-culturel surajouté à l'âge, que nous avons choisi de ne pas investiguer du fait du faible effectif de participants dans notre étude. L'écart de performances entre les deux groupes de NSC au sein-même de la classe C3 pourrait être un facteur de dispersion des données.

- Deuxièmement, nous observons globalement de meilleurs scores, grâce aux indicateurs de moyenne et de médiane, au sein du groupe C1 comparativement aux groupes C2 ou C3, qui possèdent les scores les plus bas.

Malgré ces observations, les tests statistiques de variance ne mettent en lumière aucune différence significative entre les performances des différents groupes d'âge.

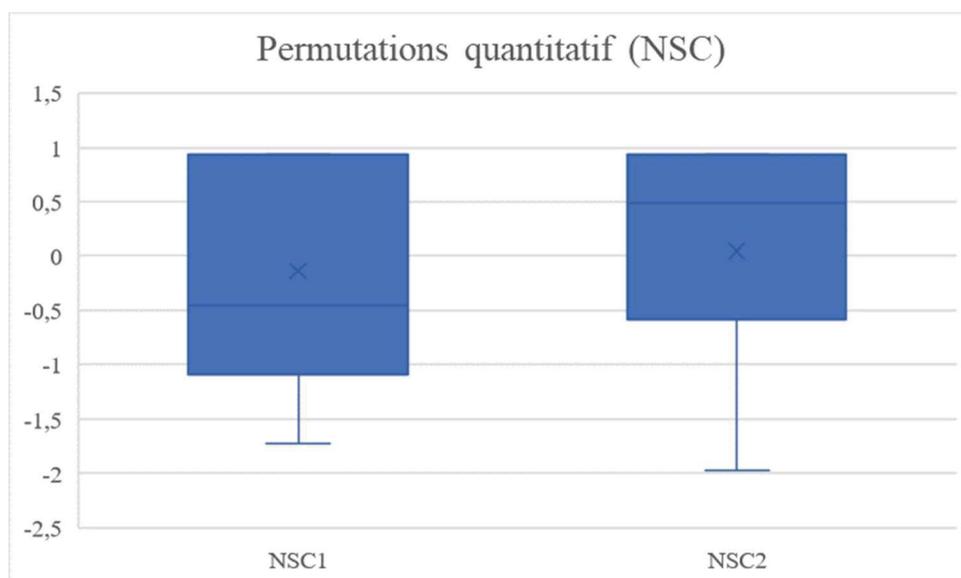
Etant donné ces résultats, nous **ne pouvons pas valider notre hypothèse H2** : « Les sujets plus jeunes auront de meilleures performances en combinatoire que les sujets âgés ».

3.5. Résultats par épreuve de l'ERLA en fonction du niveau socio-culturel

Nous analyserons dans cette partie les performances obtenues aux différentes épreuves de l'ERLA en fonction du niveau socio-culturel (NSC), en tentant de répondre à l'hypothèse H3 : Les sujets adultes au niveau d'études élevé ont de meilleures performances en combinatoire que les sujets au niveau d'études faible.

Nous avons choisi d'analyser les résultats par niveau socio-culturel de manière globale, sans tenir compte de l'âge des sujets, car certains groupes ne possédaient pas un effectif suffisant pour permettre d'interpréter les données recueillies.

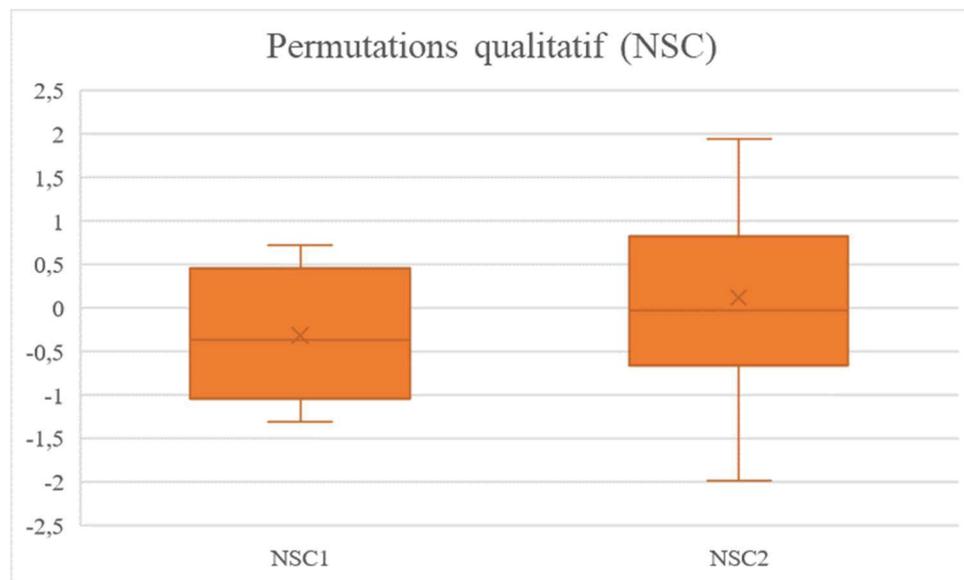
3.5.1. Permutations



Pour le score quantitatif en **permutations** (NSC), on remarque que les indicateurs de NSC1 (moyenne et médiane) ont des valeurs inférieures à celles de NSC2. La répartition des données de NSC2 entre les centiles 25 et 75 est plus homogène qu'en NSC1, témoignant de valeurs moins éparées et plus

homogènes qu'en NCS1. Ainsi, à première vue, les personnes ayant un niveau scolaire égal et supérieur au baccalauréat obtiennent de meilleures performances en permutations quantitatives par rapport à ceux d'un niveau socio-culturel inférieur.

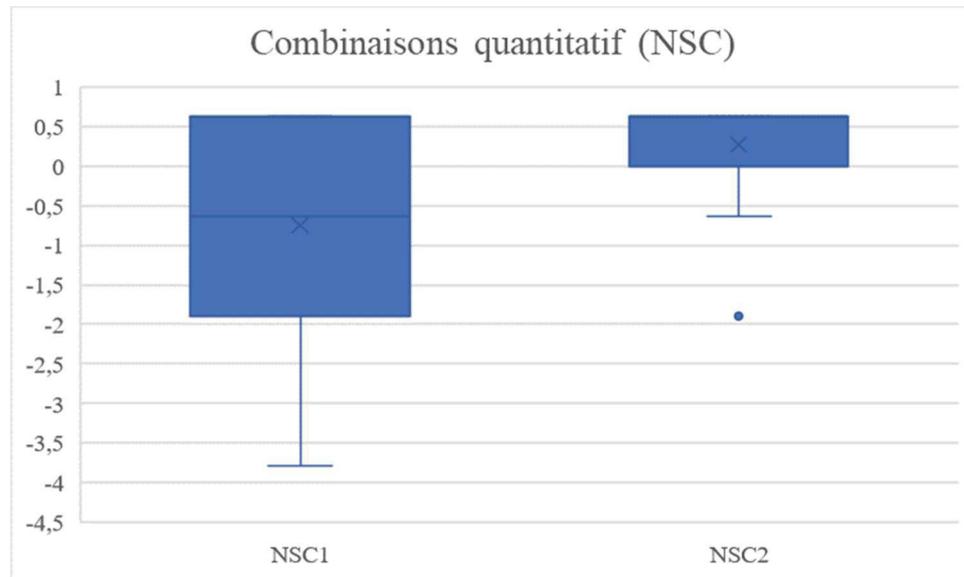
Pour le score quantitatif en permutations (niveau socio-culturel), l'analyse des variances produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.60851125184185$), ce qui ne permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différents groupes de niveau socio-culturel à cette épreuve.



Pour le score qualitatif en **permutations** (NSC), les scores en NSC1 sont inférieurs à la majorité des scores en NSC2. La répartition en quartiles témoigne d'une minorité de performances en NSC2 bien inférieures à la majorité des résultats recensés pour ce groupe. Ceci nous conduit à penser qu'il existe une certaine hétérogénéité dans la répartition des résultats en NSC2 pour une minorité de participants, qui possèdent soit des scores bien inférieurs, soit des scores bien supérieurs à ceux du reste de leur groupe. Les performances globales de cet ensemble restent cependant nettement supérieures au groupe NSC1. Aussi, de manière assez attendue, les personnes ayant un niveau scolaire égal et supérieur au baccalauréat se distinguent en obtenant de meilleures performances en permutations qualitatives.

L'analyse des variances pour le score qualitatif en permutations (niveau socio-culturel) produit une p valeur supérieure à 0,05 ($p = 0.22823447134696$). Cette valeur ne nous permet pas d'affirmer une différence significative entre les performances des différents groupes de niveau socio-culturel à cette épreuve.

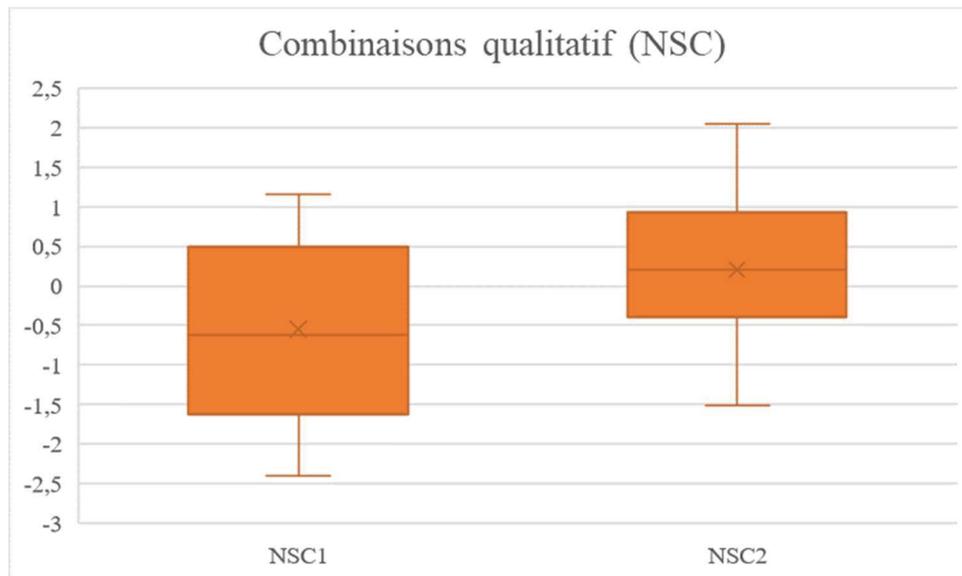
3.5.2. Combinaisons



Pour le score quantitatif en **combinaisons** (NSC), on observe une grande différence de performances entre NSC1 et NSC2. En NSC1, la moyenne et la médiane sont très supérieures à celles du groupe NSC2. L'intervalle interquartile est plus fin en NSC2, indiquant des performances plus homogènes et moins dispersées qu'en NSC1. C'est ici aussi les personnes ayant un niveau scolaire égal et supérieur au baccalauréat obtiennent, ici encore, de meilleures performances en permutations quantitatif.

Pour le score quantitatif en permutations (NSC), l'analyse des variances produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.0025885708669859$), ce qui permet d'affirmer une différence significative entre les performances des différents groupes de niveau socio-culturel à cette épreuve.

La comparaison des moyennes entre NSC1 et NSC2 dans le sens $NSC1 < NSC2$ au moyen du test T de Student produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.0012942854334929$), indiquant que la moyenne du groupe NSC1 est significativement inférieure à celle du groupe NSC2.

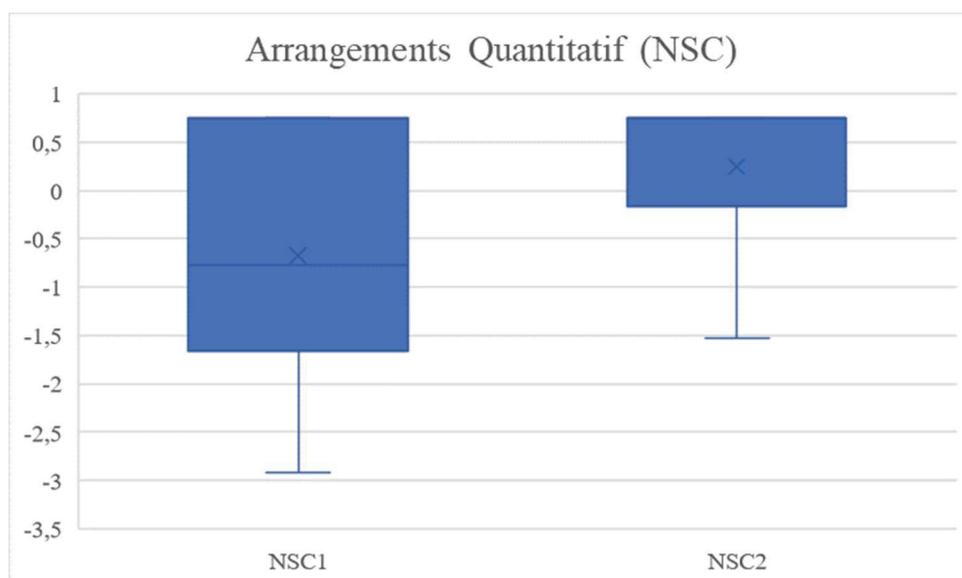


Pour le score qualitatif en **combinaisons** (NSC), on observe également des scores supérieurs en NSC2 comparativement au NSC1. Ce sont également les sujets ayant un niveau scolaire égal et supérieur au baccalauréat qui obtiennent de meilleures performances en permutations qualitatif.

Pour le score quantitatif en combinaisons (niveau socio-culturel), l'analyse des variances produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.030201616025675$), ce qui permet d'affirmer une différence significative entre les performances des différents groupes de niveau socio-culturel à cette épreuve.

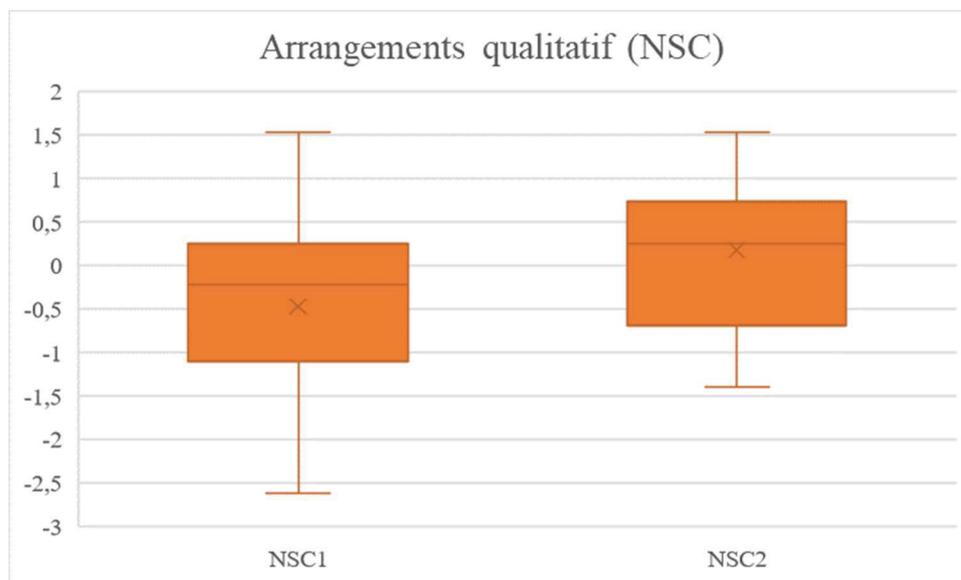
La comparaison des moyennes entre NSC1 et NSC2 dans le sens $NSC1 < NSC2$ au moyen du test T de Student produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.015100808012837$), indiquant que la moyenne du groupe NSC1 est significativement inférieure à celle du groupe NSC2.

3.5.3. Arrangements



Pour le score quantitatif en **arrangements** (NSC), on peut remarquer une moyenne et une médiane supérieures en NSC2, témoignant de scores plus élevés qu'en NSC1. L'intervalle interquartile est ici plus fin en NCS2 qu'en NSC1, indiquant des données moins éparses et plus centrées autour de la moyenne. Ce sont encore une fois les individus du NSC2 qui obtiennent les meilleurs scores.

La comparaison des moyennes entre NSC1 et NSC2 dans le sens $NSC1 < NSC2$ au moyen du test T de Student produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.0034642379056881$), indiquant que la moyenne du groupe NSC1 est significativement inférieure à celle du groupe NSC2.



Pour le score qualitatif en arrangements (NCS), les indicateurs de moyenne et de médiane sont supérieurs en NCS2 par rapport aux scores en NCS1. Une fois de plus, les sujets appartenant au groupe NSC2 obtiennent de meilleures performances en permutations qualitatif.

La comparaison des moyennes entre NSC1 et NSC2 dans le sens $NSC1 < NSC2$ au moyen du test T de Student produit une p valeur inférieure à 0,05 ($p = 0.032910456644517$), indiquant que la moyenne du groupe NSC1 est significativement inférieure à celle du groupe NSC2.

3.5.4. Synthèse partielle : validation de l'hypothèse H3

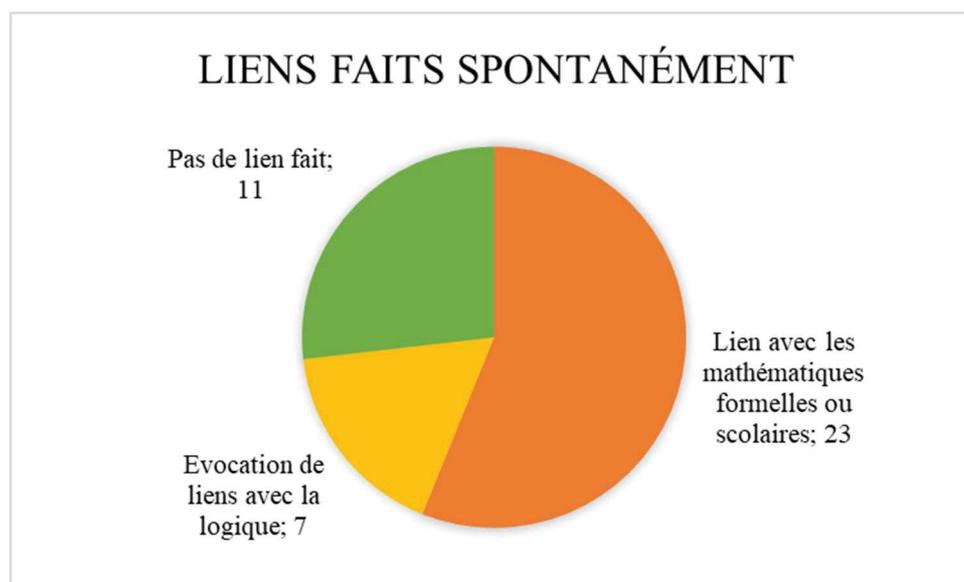
En notation quantitative comme en notation qualitative, on remarque un effet déterminant du niveau socio-culturel sur les performances à l'ERLA. En effet, dans toutes les épreuves, les performances du groupe NSC 2 sont systématiquement plus élevées que celles du NSC1.

De plus, les tests statistiques d'analyse de variance (ANOVA) et de T de Student trouvent également une différence significative entre les scores des groupes de niveaux socio-culturels, et une supériorité du groupe NSC2 par rapport au groupe NSC1 dans 2/3 des épreuves (arrangements et combinaisons).

Au vu de ces résultats, nous pouvons dès lors valider notre **hypothèse H3** : « **Les sujets adultes au niveau d'études élevé ont de meilleures performances en combinatoire que les sujets au niveau d'études faible** »

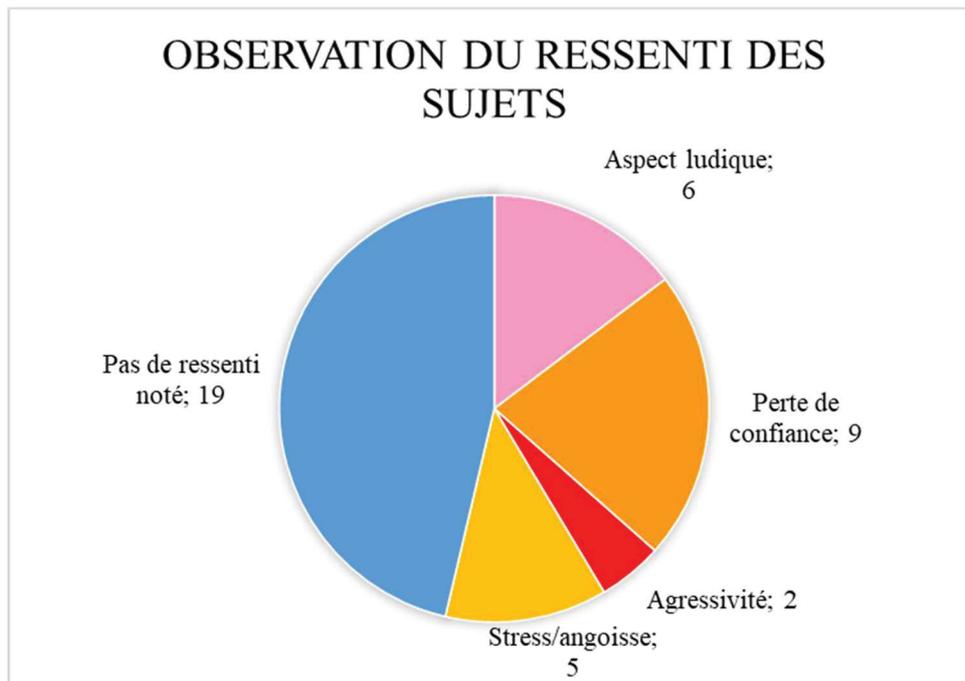
3.6. Quelques remarques

Au cours de la passation des épreuves de l'ERLA, nous nous sommes rendu compte que beaucoup des participants établissaient spontanément une corrélation entre les épreuves de combinatoire et les mathématiques formelles. Nous avons ainsi relevé l'occurrence de cette corrélation chez les sujets, ce qui donne le graphique suivant :



Ainsi, sur un total de 41 sujets, 23, soit 56,1% établissaient spontanément un rapport avec les mathématiques formelles ou scolaires, or ce lien n'est pas anodin, et avait pour effet de changer le comportement de beaucoup des sujets face aux épreuves. Parmi les sujets qui effectuaient ce lien, certains individus verbalisaient une perte de confiance en eux, des angoisses liées à la situation de test ou à des souvenirs scolaires. Nous pensons également que l'association aux mathématiques aurait pu conduire certains sujets à avoir recours à des stratégies scolaires mémorisées (telles que la factorielle, le carré, les probabilités) de manière inappropriée, et ainsi empêcher une quelconque élaboration de stratégie, c'est-à-dire que les sujets auraient eu recours à leur mémoire, et non pas à leurs compétences en combinatoire.

Il nous paraissait important de noter ce point, car il est possible que les représentations associées à ces ressentis aient eu un impact sur les performances de certains sujets. Nous avons ainsi réuni les expressions de ces indices (verbaux ou comportementaux) chez tous les sujets dans le graphique suivant :



Si aucun ressenti particulier n'a été exprimé par 46% de notre échantillon, 14% verbalisent un aspect ludique et 39% expriment des sentiments négatifs : une perte de confiance en eux, de l'agressivité, ou des angoisses.

A la fin de la passation de l'ERLA, nous avons demandé aux participants s'ils pouvaient décrire ce qu'ils avaient fait au cours des épreuves de combinatoire. Nous avons recueilli chacune des occurrences de certains mots clé au fil de leurs propos, et les avons classées par champs sémantiques. On remarque alors 25 occurrences de vocabulaire mathématique formel (mathématiques, probabilités, vocabulaire de la combinatoire, calcul, nécessité d'une formule mathématique), et 24 occurrences de termes en lien avec la logique (exercices de logique, raisonnement, nécessité d'une organisation, d'une stratégie). Nous pensons que les sujets auraient pu être influencés par nos consignes, car ils étaient au courant que l'évaluation portait sur « leur raisonnement logique ». Nous remarquons aussi 17 occurrences de termes en relation avec le domaine visuel (tri, ordre, dimension visuelle ou disposition spatiale), 8 occurrences de termes en lien avec la métacognition (anticipation, vérification, apprentissage), 9 occurrences de termes en lien avec d'autres compétences (mémoire, imagination, réflexion), ainsi que 17 occurrences de termes liés à un vocabulaire plus affectif (ludique, torture, flemme, notion d'effort ressenti).

Il est à noter que chez certains sujets, l'évocation d'une « nécessité d'organisation » survenait a posteriori d'une manipulation qui n'avait pas bénéficié d'une telle organisation.

Il est également intéressant de noter que les sujets ayant eu de meilleures performances possédaient un vocabulaire mathématique adéquat, et avaient, dans leur vie étudiante ou professionnelle, bénéficié

d'un enseignement formel de la combinatoire mathématique (professeurs de mathématiques, chercheurs en mathématiques, ingénieurs, informaticiens sont quelques-unes des professions particulièrement remarquées).

Au fil des épreuves, nous avons également noté un effet d'apprentissage chez de nombreux sujets, qui appliquaient leurs expériences de stratégies et ont pris appui sur leurs constructions antérieures et les ont utilisées comme outil de résolution de problèmes, permettant une meilleure adaptation au fil des épreuves.

3.7. Récapitulatif des résultats : conclusion des hypothèses

Etant donné les résultats en termes d'intégrité des stratégies employées et du nombre de possibilités trouvées pour chacun des items, **nous pouvons valider notre hypothèse H0 : les adultes sans lésion cérébrales ne sont pas forcément opérants en combinatoire.**

Etant donné l'effectif limité de notre échantillon, **nous ne pouvons pas valider notre hypothèse H1 : Les sujets ayant des meilleures performances en tests neuropsychologiques auront de meilleures compétences en combinatoire.**

Etant donné les résultats non-significatifs au test statistique d'analyse de la variance ANOVA, **nous ne pouvons pas valider notre hypothèse H2 : Les sujets plus jeunes auront de meilleures performances en combinatoire que les sujets âgés.**

Etant donné les résultats significatifs aux tests statistiques d'analyse de la variance ANOVA et au T de Student, **nous pouvons valider notre hypothèse H3 : Les sujets adultes au niveau d'études élevé ont de meilleures performances en combinatoire que les sujets au niveau d'études faible.**

La combinatoire n'est en majorité pas construite chez l'adulte, et nous pouvons remarquer des performances plus faibles au sein d'une population ayant un niveau socio-culturel faible. Nos résultats vont ainsi dans le même sens que les analyses de Bradmetz (1999), Larivée (1981) et Durel & Leiser (2009). De manière plus qualitative, nous pouvons tout de même observer un impact de l'âge sur les performances en combinatoire. Nous n'avons pas pu mettre en lumière de différences de performances liées aux fonctions exécutives.

En revanche, les fluctuations des résultats semblaient davantage liées au type d'activité professionnelle qu'avaient expérimenté les sujets de l'étude, sans que nous ayons pu investiguer plus en détail cet élément.

4. Discussion

Synthèse des résultats

Nous avons vu que ce qui différencie la pensée de l'enfant, concrète, de celle de l'adulte, abstraite, est la naissance d'une combinatoire. Celle-ci permet à l'adolescent de s'abstraire du réel pour raisonner sur des choses qui n'existent pas, sur des hypothèses, des propositions, des idées... Ou même d'en être l'instigateur. Cette acquisition se fait au rythme de chacun, en suivant un développement qui serait commun à tous, et aboutit à un système méthodique, élaboré et cohérent de pensée^{104 105 106 107}.

Nous nous sommes penchés sur différents types de combinatoire (permutations, combinaisons, arrangements) afin de comprendre leurs fonctionnements dans l'optique de créer une base de données fiable pour l'évaluation d'adultes cérébrolésés. Nous les avons ainsi investiguées chez des sujets adultes sains, en partant du principe que ceux-ci ne seraient pas opérants en combinatoire, car si Piaget (1951) affirme que cette structure est présente dès l'adolescence, d'autres auteurs, comme Bradmetz¹⁰⁸, Larivée¹⁰⁹ et Brylinski & Delbaere¹¹⁰ remettent en question cette conception, et ajoutent que d'autres facteurs sont à prendre en compte dans le développement de cette compétence, et que certaines populations d'adolescents (notamment ceux ayant un niveau socio-culturel faible) n'acquièrent pas cette combinatoire logique. De ces éléments, nous avons tiré notre hypothèse principale H0 : les adultes sans lésion cérébrales ne sont pas forcément opérants en combinatoire.

Cette hypothèse **H0 a été validée**, car en prenant en compte les critères d'intégrité de stratégie (annexe 3 : « *Stratégie mature d'emblée, organisation méthodique, efficace et fiable car elle permet de trouver toutes les possibilités (pose de tuile rigoureuse, algorithmique, qui permette de trouver d'emblée toutes les situations possibles* ») et de nombre de possibilités trouvées, une large proportion de notre échantillon ne parvient pas à trouver toutes les combinaisons possibles en adoptant une telle stratégie.

Nous voulions également rechercher une corrélation entre les compétences en combinatoire et les capacités en fonctions exécutives. Dans le même sens, André¹¹¹ trouve un lien entre les processus exécutifs et la combinatoire chez de jeunes adolescents. Nous avons donc formulé l'hypothèse H1 : Les sujets ayant des meilleures performances en tests neuropsychologiques auront de meilleures

¹⁰⁴ (Legendre Bergeron, 1980)

¹⁰⁵ (Houdé, 2018a)

¹⁰⁶ (Piaget & Inhelder, 1951)

¹⁰⁷ (Dolle, 2005)

¹⁰⁸ (Bradmetz, 1999)

¹⁰⁹ (Larivée, 1981)

¹¹⁰ (Brylinski & Delbaere, 2018)

¹¹¹ (Andre, 2015)

compétences en combinatoire. A ce titre, trois tests neuropsychologiques évaluant l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité étaient présentés à nos sujets. Cependant, nous n'avons pas pu établir de corrélation significative entre ces deux types de performances, et n'avons donc **pas validé H1**.

L'objectif de cette étude étant de fournir une base de données utile à l'évaluation des adultes cérébrésés, nous avons également porté notre intérêt sur les variations de performances en fonction des facteurs d'âge, et de NSC.

En ce qui concerne l'âge : nous savions grâce à André¹¹² que la combinatoire logico-mathématique et les fonctions exécutives étaient liées. L'âge ayant un impact considérable sur les processus exécutifs¹¹³¹¹⁴, nous sommes donc partis de l'hypothèse H2 que l'âge aurait également un impact sur les performances en combinatoire, et que les sujets plus jeunes auraient de meilleures performances en combinatoire que les sujets âgés. Cette hypothèse **H2 a été invalidée** par les statistiques, bien que d'un point de vue plus qualitatif, lorsque nous avons séparé notre échantillon en différents groupes d'âge, nous avons pu remarquer une tendance chez les adultes en classe d'âge C3 (entre 71 et 85 ans) à avoir des performances plus basses que les adultes en C1 (entre 40 et 55 ans). Ainsi, les performances baissaient lorsque l'âge augmentait.

Le second facteur de variabilité que nous voulions étudier était le niveau socio-culturel. Cet élément avait déjà été observé par certains auteurs¹¹⁵¹¹⁶, qui ont trouvé des compétences en combinatoire inexistantes ou retardées chez des sujets au niveau socio-culturel plus bas. Nous avons donc formulé l'hypothèse H3 : Les sujets adultes au niveau d'études élevé ont de meilleures performances en combinatoire que les sujets au niveau d'études faible. Nous avons **validé cette hypothèse H3**, le niveau socio-culturel a bien un effet déterminant et significatif sur les compétences en combinatoire. Nous pourrions également invoquer le fait que les sujets les plus assurés lors de la passation de l'ERLA exerçaient des professions qui auraient pu soutenir l'émergence d'une combinatoire logico-mathématique (ingénieur, informaticien...).

Limites de l'étude

Biais de recrutement

Au cours de ce mémoire, nous nous sommes heurtés à un biais de recrutement qui nous a empêchés d'obtenir certains résultats statistiquement significatifs. Dans notre étude, nous n'avons pu recruter

¹¹² (Andre, 2015)

¹¹³ (Houdé, 2018b)

¹¹⁴ (Collette & Salmon, 2014)

¹¹⁵ (Bradmetz, 1999)

¹¹⁶ (Larivée, 1981)

que 47 sujets, dont 3 ont été écartés pour bilinguisme précoce, 1 refusé pour traumatisme crânien, et 2 exclus à la passation du MMSE pour des scores inférieurs à la note seuil d'inclusion dans l'étude.

Au sein de notre échantillon, les groupes étaient très hétérogènes : le groupe NSC2 était majoritaire, et nous n'avions que trop peu d'individus en groupe C3. Cette hétérogénéité nous a empêché d'effectuer certaines analyses (analyses du NSC par âge, et analyses de l'âge par NSC) ou d'obtenir des résultats généralisables à une plus grande part de la population.

Difficultés liées au matériel

Nous nous sommes familiarisés au matériel et aux consignes de l'ERLA en effectuant des passations « tests » auprès de jeunes adultes, sans les inclure dans l'étude. Mais malgré cet entraînement, nous avons rencontré des difficultés liées au matériel de l'ERLA. Premièrement, nous n'avons pas été initiés à l'ERLA de manière formelle, et avons omis une partie importante de l'analyse qualitative, qui résidait en la demande d'une justification verbale après chaque manipulation. Or nous n'avons pas demandé de commentaire après la présentation des différents items du test, et n'avons donc pas pu examiner de plus près la qualité du raisonnement métacognitif des participants.

Deuxièmement, quelques sujets ont émis des critiques vis-à-vis du matériel, et ont affirmé qu'ils auraient été plus en confiance avec un support écrit plutôt que des tuiles et des jetons (lettres à écrire eux-mêmes). Ce commentaire rejoint l'idée émise par Piaget, que les épreuves logico-mathématiques (comme présentes dans l'ERLA) pourraient ne convenir qu'à un éventail restreint de sujets : ceux qui possèdent cette intelligence logico-mathématique. Pour les autres, cette pensée formelle s'exprimerait ainsi dans leur domaine d'expertise, et non dans des épreuves logico-mathématiques¹¹⁷.

Difficultés de passation

Nous avons également rencontré des difficultés lors des passations de l'ERLA. D'un point de vue pratique, les adultes, et notamment les adultes sains, sont rassemblés en une population forte de son intégrité cognitive. De ce fait, ils possèdent une légitimité et une autorité que nous ne rencontrons pas chez les enfants à qui l'on présente habituellement l'ERLA. Effectivement, il s'agissait-là d'une population peu compliant, qui s'arrêtait de réfléchir plus volontiers lorsqu'elle était confrontée à la difficulté. Cette variabilité représente un biais important dans l'analyse des résultats, puisque souvent ce refus de l'effort de réflexion conduisait à un abandon pur et simple de l'élaboration du système en cours, lors de la manipulation. Nous pouvons néanmoins interroger la notion de surcharge cognitive face à l'aspect calculatoire des épreuves, qui rebuterait ou découragerait certains des sujets. Jaeggi &

¹¹⁷ (Piaget, 1970)

al. (2007)¹¹⁸ trouvent des patterns différents d'activation cérébrale chez des sujets ayant de bonnes performances comparativement aux sujets ayant de moins bonnes performances. Les sujets ayant de bonnes performances activent moins de zones cérébrales, et ce de manière plus efficace et pertinente que les sujets qui ont de moins bonnes performances, qui activent plus de zones de manière inadéquate. Nous pensons donc que l'effort induit par la réalisation d'une tâche inhabituelle pourrait épuiser l'énergie cognitive de certains sujets, et ainsi contribuer à la leur rendre plus difficile qu'elle ne l'est pour d'autres individus, et donc impacter leur performance.

Difficultés de cotation

Lors de l'élaboration de la cotation, nous avons préféré élaborer nous-même une grille de cotation, inspirée par les travaux de Larivée¹¹⁹, de André¹²⁰ et des repères développementaux proposés par la théorie constructiviste^{121 122}. Or cette grille a été élaborée spécifiquement dans le cadre de ce mémoire, et consiste ainsi en un biais important puisque sa pertinence n'a pas été évaluée. Nous souhaitons cependant permettre une standardisation des scores, tout en prenant en compte l'importance de l'observation et de l'analyse comportementale des sujets. Ainsi, une double cotation nous semblait être le meilleur moyen d'obtenir des données quantitatives et de permettre de les comparer aux scores réalisés dans les autres tests. Comme le disent Durel & Leiser¹²³ : « *la performance n'est pas forcément liée au niveau de la stratégie, et inversement. [...] Il est donc important de prendre en compte ces deux aspects qui ne sont pas toujours dépendant l'un de l'autre* ». C'est pourquoi le fait d'avoir enregistré et filmé les passations de l'ERLA nous a grandement aidé à coter, à distance, les performances des sujets.

Référence aux savoirs scolaires

Bien que nous ayons pris parti de ne pas influencer les participants, les différentes épreuves de l'ERLA ont spontanément fait naître des réflexions sur la proximité des épreuves avec des connaissances scolaires en mathématiques. De nombreux sujets élaboraient un lien, lien qui les conduisait à adopter un comportement « automatique ». De manière identique à ce que Brylinski & Delbaere¹²⁴ ont mis à jour dans leur étude, les sujets se référaient à leurs apprentissages formels, ce qui avait le double effet de bloquer toute élaboration de système, ainsi que de fausser l'anticipation d'un pronostic et d'induire

¹¹⁸ (Jaeggi et al., 2007)

¹¹⁹ (Larivée, 1981)

¹²⁰ (André, 2015)

¹²¹ (Piaget & Inhelder, 1951)

¹²² (Legeay et al., 2009)

¹²³ (Durel & Leiser, 2009)

¹²⁴ (Brylinski & Delbaere, 2018)

une manipulation peu efficiente. Souvent, les formules mathématiques trouvées intuitivement étaient mal réalisées, ou peu pertinentes.

Temps de passation

Au fil des passations, nous nous sommes rendu compte que certaines d'entre elles étaient bien plus longues que d'autres (de 20 minutes à plus d'une heure dans certains cas). Un chronométrage du temps n'était pas prévu dans notre protocole, mais aurait pu l'être et participer ainsi à l'analyse qualitative des performances des participants.

Intérêts de l'étude

Perspectives de recherche

En réalisant ce mémoire, nous nous sommes inspirés de l'étude de Vincens & Casanovas¹²⁵ qui se sont attachés à étudier les classifications chez l'adulte tout-venant. Dans le but de permettre une évaluation logico-mathématique exhaustive chez cette population, il serait intéressant d'étudier d'autres opérations logiques.

Au vu des difficultés et biais retrouvés dans notre étude, une analyse plus rigoureuse de la combinatoire, avec un plus grand nombre de sujets et en prenant en compte la partie « justification », pourrait être réalisée. Il serait également intéressant de prendre en compte la profession des sujets dans le questionnaire de début, et de comparer les performances en fonction des différents métiers rencontrés. Nous nous interrogeons également sur la perspective d'une analyse par régression linéaire, afin de comprendre chacun des facteurs qui influe sur les compétences en combinatoire indépendamment l'un de l'autre (âge et niveau socio-culturel).

Afin de comparer les résultats d'une population saine avec ceux d'une population pathologique, il serait également utile d'analyser les compétences des adultes cérébrolésés en combinatoire, et de les comparer avec celles de notre échantillon.

Afin de vérifier l'impact réel des compétences en fonctions exécutives, nous pourrions également songer à inclure une population plus jeune (inférieure à 40 ans). Effectivement, nous avons vu que les fonctions exécutives se détériorent avec l'âge^{126 127}, il pourrait donc être intéressant de vérifier leur corrélation avec les performances en combinatoire de jeunes adultes.

¹²⁵ (Vincens & Casanovas, 2020)

¹²⁶ (Collette & Salmon, 2014)

¹²⁷ (Houdé, 2018b)

Nous pourrions également penser à la réalisation d'une étude en Single Case Design (SCED) sur la rééducation des aspects logiques chez des cérébrolésés ¹²⁸.

Il pourrait être intéressant de créer des moyens d'évaluation plus spécifiques aux adultes. Le matériel de l'ERLA n'est pas forcément infantilisant (il n'y a pas eu de plaintes reçues en ce sens), mais un prochain travail sur ce sujet pourrait être de réfléchir à une autre modalité d'évaluation de la combinatoire qui soit plus écologique ou verbale, ancrée dans la vie quotidienne.

En faisant passer les épreuves de l'ERLA, nous nous sommes interrogés sur une possible corrélation entre combinatoire et planification. Cette question est également soulevée par André¹²⁹ dans son mémoire.

Perspectives de rééducation

L'objectif de notre étude était de fournir une base de référence des compétences de l'adulte tout-venant en combinatoire logique. La visée finale d'un tel travail serait de restaurer, d'instaurer ou de favoriser l'émergence d'une combinatoire logique chez l'adulte cérébrolésé, dans le but d'améliorer l'adaptation d'un individu à un monde qui demande de plus en plus d'envisager et d'analyser les différentes informations qui s'offrent à nous. Comme nous l'avons développé plus haut, nous estimons qu'une rééducation de la combinatoire pourrait améliorer les compétences en résolution de problème, en mobilité de pensée et en pragmatique.

¹²⁸ (Cavé, 2014)

¹²⁹ (Andre, 2015)

Conclusion

Au fil de ce mémoire, nous nous sommes intéressés aux compétences en combinatoire logique chez l'adulte sain, en évaluant ses performances au moyen de l'ERLA (Evaluation du Raisonnement et du Langage Associé), test utilisé en orthophonie pour évaluer le développement du raisonnement chez l'enfant porteur de troubles logiques. Nous avons pour idée de définir si l'adulte tout-venant était opérant en combinatoire, et si ses performances variaient en fonction de ses compétences en fonctions exécutives, de son âge et de son niveau socio-culturel.

Pour ce faire, nous avons établi une grille de cotation de l'ERLA possédant une double notation, ce qui nous a permis d'analyser les performances quantitatives et qualitatives des patients, en établissant des indicateurs (moyenne, médiane et score Z). Grâce aux résultats obtenus, nous avons pu établir que l'adulte sain n'est, en majorité, pas opérant en combinatoire logique, et que les performances de cette population fluctuent significativement en fonction de son niveau socio-culturel. Nous n'avons pas, en revanche, pu prouver un lien statistique avec son âge ou ses compétences en fonctions exécutives.

Nous pensons que notre étude ouvre certaines perspectives orthophoniques dans le domaine de l'évaluation de l'adulte cérébrolésé, et pourrait être complétée par de nouveaux travaux sur d'autres compétences logico-mathématiques (notamment la sériation, l'inclusion ou la conservation).

Bibliographie

- Altenburger, J. (2016). *Intérêt de la rééducation du raisonnement logique chez les patients cérébrolésés présentant des troubles de la pragmatique* [Mémoire d'orthophonie]. Strasbourg.
- Andre, E. (2015). *Une approche néo-piagétienne de la cognition : Étude de corrélation entre l'accès à la logique combinatoire et l'efficacité des processus exécutifs* [Mémoire d'orthophonie]. Bordeaux Segalen.
- Bayard, S., Erkes, J., & Moroni, C. (2009). *Test du Stroop Victoria—Adaptation francophone*. [http : //nca.recherche.univ-lille3.fr](http://nca.recherche.univ-lille3.fr)
- Bellot, B., & Trinquesse, C. (2009). *Observation des conduites langagières d'adolescents en situations nécessitant des compétences en langage et en logique* [Mémoire d'orthophonie]. Université de Lorraine.
- Bialystok, E., Craik, F., & Luk, G. (2012). Bilingualism : Consequences for mind and brain. *Feature Review, 16*(4), 242-250.
- Bradmetz, J. (1999). Precursors of formal thought : A longitudinal study. *British Journal of Developmental Psychology, 17*(1), 61-81. <https://doi.org/10.1348/026151099165159>
- Brin, F. (2014). *Dictionnaire d'orthophonie*.
- Brylinski, Z., & Delbaere, C. (2018). *Mise en évidence, par une étude transversale, des liens entre les compétences logiques et pragmatiques chez le sujet adulte cérébrolésé* [Mémoire d'orthophonie]. Strasbourg.
- Cavé, M. (2014). *Raisonnement logique chez l'adulte cérébrolésé : Exploration des difficultés Recherche de corrélations avec les déficits des compétences mathématiques* [Mémoire d'orthophonie]. Strasbourg.
- Chalon-Blanc, A. (1997). *Introduction à Jean Piaget*. L'Harmattan.
- Chassard, G., & Lixi, C. (2020). *Maths Maths experte Terminale*. Nathan.
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française, 59*(1), 41-58. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2013.03.006>

- Dana-Gordon, C. (2013). *Bilinguisme et fonctions exécutives : Une approche développementale*. Bordeaux 2.
- Dell'Armi, M. (2015). L'impact du bilinguisme sur les capacités inhibitrices des enfants : Une étude-pilote. *Enfance*, N° 2(2), 245-259.
- Dolle, J.-M. (2005). *Pour comprendre Jean Piaget* (3. éd., entièrement rev. et augm). Dunod.
- Dolle, J.-M. (2013). La notion d'apprentissage dans la perspective de l'épistémologie génétique. *Revue internationale de psychosociologie et de gestion des comportements organisationnels*, Vol. XIX(47), 81-104.
- Durel, C., & Leiser, E. (2009). *Evaluer la pensée combinatoire : Étude auprès de collégiens à troubles logiques et tout-venants* [Mémoire d'orthophonie]. Lyon1.
- Flamand-Roze, C., Falissard, B., Roze, E., Maintigneux, L., Beziz, J., Chacon, A., Join-Lambert, C., Adams, D., & Denier, C. (s. d.). *Validation of a New Language Screening Tool for Patients With Acute Stroke*. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.609503>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state" A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Gendre-Grenier, L., & Vaillandet, C. (2013). Approche logico-mathématiques chez les adultes cérébrólésés : Une perspective complémentaire. *Rééducation orthophonique, L'évaluation des troubles du raisonnement logique*(255), 203.
- Houdé, O. (2018a). *Le raisonnement*.
- Houdé, O. (2018b). *Les 100 mots de la psychologie*. Presses Universitaires de France.
- INTELLIGENCE : Définition de INTELLIGENCE*. (s. d.). Consulté 15 août 2021, à l'adresse <https://www.cnrtl.fr/definition/intelligence>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Etienne, A., Ozdoba, C., Perrig, W. J., & Nirrko, A. C. (2007). On how high performers keep cool brains in situations of cognitive overload. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(2), 75-89. <https://doi.org/10.3758/CABN.7.2.75>

- Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). The Mini Mental State (MMS) : French standardization and normative data [Standardisation et étalonnage français du « Mini Mental State » (MMS) version GRÉCO]. *Revue de Neuropsychologie*, 13, 209-236.
- Larivée, S. (1981). Le schème de combinatoire : Un schème adaptatif. *Bulletin AMQ*, 21-1, 3-11.
- Legeay, M. P., Morel, L., & Voye, M. (2009). *ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé)—Malette et manuel de bilan Cogi'act*. Cogilud.
- Legeay, M. P., Morel, L., & Voye, M. (2013). Le bilan ERLA : exploration du raisonnement et du langage associé. *Rééducation orthophonique, L'évaluation des troubles du raisonnement logique*(255), 75.
- Legendre Bergeron, M.-F. (1980). *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*. Gaëtan Morin.
- Massa, E., Cortelazzo, F., Yagoubi, R. E., & Köpke, B. (2016). Bilinguisme et contrôle exécutif : Exploration neurofonctionnelle au moyen des méthodes potentiels évoqués et IRMF. *Revue de neuropsychologie, Volume 8(2)*, 126-136.
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., & Wager, T. (2000). *The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex « frontal lobe » tasks : A latent variable analysis*.
- Nomenclature générale des actes professionnels*. (s. d.). fno.fr. Consulté 20 avril 2022, à l'adresse <https://www.fno.fr/wp-content/uploads/2019/09/Affiche-m%C3%A9tropole-juillet-2019.png>
- Norman, D., & Shallice, T. (1980). *Attention to action : Willed and automatic control of behaviour*.
- Piaget, J. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Presses universitaires de France.
- Piaget, J. (1970). *L'évolution intellectuelle entre l'adolescence et l'âge adulte* (p. 149-156) [IIIe Congrès International FONEME sur la formation humaine de l'adolescence à la maturité et Décernement des Prix FONEME].
- Piaget, J. (1977). *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1951). *La genèse de l'idée de hasard*. Presses Universitaires de France.

Rigolet, S. (1997). *Le raisonnement logique chez le traumatisé crânien* [Mémoire d'orthophonie]. Nice
- Sophia Antipolis.

Vincens, M., & Casanovas, M. (2020). *Exploration de la structure logique de classification auprès
d'une population d'adultes sains : Constitution d'une base de données utile à l'évaluation et
la prise en soin orthophonique des patients cérébrolésés*. [Mémoire d'orthophonie].
Strasbourg.

Annexes

- Annexe 1 : Fiche d'information pour la participation à un travail de recherche de fin d'études
- Annexe 2 : Formulaire de consentement pour la participation à un travail de recherche de fin d'études
- Annexe 3 : Proposition d'une grille de cotation pour l'ERLA
- Annexe 4 : Tableau 1 : scores patients
- Annexe 5 : Tableau 2 : scores Stroop Victoria mis en rapport avec scores à l'ERLA
Tableau 3 : récapitulatif groupes scores Stroop Victoria mis en rapport avec groupes scores ERLA
- Annexe 6 : Tableau 4 : scores Alpha Span mis en rapport avec scores à l'ERLA
Tableau 5 : récapitulatif groupes scores Alpha Span mis en rapport avec groupes scores ERLA
- Annexe 7 : Tableau 6 : scores TMT mis en rapport avec scores à l'ERLA
Tableau 7 : récapitulatif groupes scores TMT mis en rapport avec groupes scores ERLA

Fiche d'information pour la participation à un travail de recherche de fin d'études

Dans le cadre de son travail de fin d'études, pour l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie, au sein du Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Strasbourg (Faculté de Médecine, Université de Strasbourg), encadré par Madame DENIS-FAERBER, orthophoniste et enseignante au CFUO de Strasbourg, Madame Grâce Rudio m'a proposé de participer à une étude.

Cette étude a pour but d'investiguer le raisonnement logique chez l'adulte sain, entre 40 et 85 ans, afin d'évaluer la pertinence de l'utilisation des tests de l'étude auprès de patients cérébrolésés lors d'un bilan orthophonique.

- Chaque participant sera soumis à plusieurs tests. Les données recueillies (score, enregistrement vidéo) seront analysées de façon statistique et qualitative.
- L'évaluation ne nécessite aucune mesure invasive.
- Elle se déroulera sur deux séances d'environ 40 minutes.
- Toutes les données recueillies seront anonymisées.
- Le participant peut choisir de mettre fin à tout moment à sa participation au projet, et également demander la destruction des données le concernant.
- Les personnes responsables du projet peuvent informer les participants, à leur demande, des résultats généraux de l'étude (et non pas individuels), garantissant ainsi l'anonymat des participants.
- La participation à l'étude ne donnera pas lieu à une compensation financière.

Ces recherches ne sont possibles que grâce au consentement des personnes qui acceptent d'être enregistrées et filmées. Nous vous demanderons par conséquent votre autorisation à procéder aux enregistrements.

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de lire cette lettre d'information. Si vous êtes d'accord pour participer à cette recherche, nous vous invitons à signer le formulaire de consentement ci-joint.

Formulaire de consentement pour la participation à un travail de recherche de fin d'études

Je soussigné(e).....
(nom et prénom du sujet), accepte de participer à l'étude réalisée par Madame RUDIO Grâce dans le cadre de son mémoire d'orthophonie réalisé au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie (CFUO) de Strasbourg, encadré par Madame DENIS-FAERBER, orthophoniste et enseignante au CFUO de Strasbourg.

J'ai reçu des informations précisant l'ensemble des modalités de déroulement de cette étude. J'ai noté que les données recueillies lors de cette recherche demeureront strictement confidentielles.

J'ai noté qu'un enregistrement de la voix et un enregistrement vidéo sera réalisé n'incluant pas le visage des participants.

Et que seuls les responsables de l'étude pourront avoir accès à l'ensemble de ces données.

J'ai eu la possibilité de poser toute les questions qui me paraissaient utiles, et l'étudiante a répondu à toutes les questions que je souhaitais lui poser.

Par la présente :

- J'autorise Madame RUDIO Grâce à enregistrer la passation des épreuves du protocole de l'étude.
- J'autorise l'utilisation de ces données sous leur forme enregistrée.
- Je prends acte que pour toutes ces utilisations scientifiques, les données ainsi enregistrées seront anonymisées.

Fait à :

Le :

Nom, Prénom du participant

Nom, Prénom de l'étudiant

RUDIO Grâce

Signature :

Signature :



Annexe 3 : Proposition d'une grille de cotation pour l'ERLA

PERMUTATIONS						
Item	Description	Notation quantitative		Notation qualitative		
		/50 /15	/50 /30			
		Nb effectué (0,5 pts par possibilité trouvée en manip)	Nb anticipé avec justification	Type de stratégie	Justification	Présence d'erreurs
		/15	/10	/10	/10	-1 ou -2
1P	3 couleurs (x6) - anticipation - Réalisation	/3	/2	/5	/5	
2P	4 couleurs (x24) - Anticipation - Réalisation	/12	/2	/5	/5	
3P	5 couleurs anticipation (120)	X	/2	X	X	X
4P	6 couleurs anticipation (720)	X	/2	X	X	X
5P	7 couleurs anticipation (5040)	X	/2	X	X	X

ARRANGEMENTS						
Item	Description	Notation quantitative		Notation qualitative		
		/50 /20	/50 /36			
		Nb effectué (0,5 pts par possibilité trouvée en manip)	Nb anticipé avec anticipation	Type de stratégie	Justification	Présence d'erreurs
		/20	/6	/15	/15	-1 ou -2
1A	3 parmi 4 (x24) - anticipation - réalisation	/12	/2	/5	/5	
2A	2 parmi 4 (x16) - anticipation - réalisation	/8	/2	/5	/5	
3A	2 parmi 5 (x25) - anticipation	x	/2	/5	/5	

COMBINAISONS						
Item	Description	Notation quantitative		Notation qualitative		
		/50 /9,5	/50 /24			
		Nb effectué (0,5 pts par possibilité trouvée en manip)	Nb anticipé avec justification	Type de stratégie	Justification	Présence d'erreurs
		/9,5	/4	/10	/10	-1 ou -2
1C	2 parmi 6 (x15) - anticipation - réalisation	/7,5	/2	/5	/5	
2C	3 parmi 4 (x4) - anticipation - réalisation	/2	/2	/5	/5	

CRITERES QUALITATIFS	
Anticipation /2	
Stratégie d'anticipation correcte → Généralisation partielle: le sujet cherche à utiliser une loi, à effectuer le bon calcul pour déterminer en anticipation le nombre de lignes. Il parvient à estimer, approximativement ou exactement, grâce au bon calcul, le nombre de possibilités (exemple : le sujet remarque qu'avec 3 couleurs on obtient 2 lignes commençant par chaque couleur, donc il prévoit de constituer 3 lignes avec chaque jeton pour 4 couleurs : $3 \times 4 = 12$)	2/2
Stratégie visuelle d'anticipation correcte : le sujet « compte » et s'organise en s'aidant d'un support visuel	1,5/2
découverte partielle d'un système ne permettant pas de trouver toutes les possibilités de tête.	1
Anticipation correcte ou approximative à mi-chemin de l'épreuve – révision du jugement premier par généralisation, sous réserve de verbalisation par le sujet.	0,5/2
<ul style="list-style-type: none"> Stratégie erronée Pronostic donné au hasard Raisonnement automatique erroné Mauvais pronostic trouvé avec une stratégie inadéquate Stratégie visuelle incorrecte ou inadéquate Absence de réponse Abandon Refus 	0/2
Types de stratégies /5	
Stratégie mature d'emblée, organisation méthodique, efficace et fiable car elle permet de trouver toutes les possibilités (pose de tuile rigoureuse, algorithmique, qui permette de trouver d'emblée toutes les situations possibles (ex : Item 2 permutations → poser 6x C1, puis 2xC2, puis alterner C3 et C4 sans hésitation.)	5/5
<ul style="list-style-type: none"> Recherche évolutive de stratégie vers la plus optimale Stratégie correcte mais nécessitant une vérification visuelle partielle Changement total de stratégie à mi-chemin de l'épreuve, restructuration des suites posées 	4/5
<ul style="list-style-type: none"> Proche en proche sous-tendu par une certaine organisation interne et efficace (trouve toutes les possibilités en s'autocorrigeant) Stratégie algorithmique mais insuffisante, ne permettant pas d'envisager tous les possibles. 	3/5
Proche en proche sous-tendu par une certaine organisation interne (logique pour le sujet) inefficace : Apparition d'une organisation nécessaire : le sujet prend conscience d'une certaine régularité dans la réalisation de tous les possibles mais la stratégie qu'il met en place n'est pas efficace car elle ne permet pas de trouver les 24 possibilités pour 4 couleurs. On peut observer une recherche figurative des dispositions (par exemple, le sujet s'attache à réaliser des diagonales de couleurs)	2/5
Proche en proche sans organisation, sans conscience d'organisation	0/5
Non-réponse à la consigne	0/5
Présence d'erreurs	
Présence de doublons non-corrigés	-2
Présence de doublons, partiellement corrigés	-1
Autocorrection insuffisante pour combler les manques	-2
Présence de doublons d'une même couleur au sein d'une disposition	-1

Annexe 4 : Tableau 1 : scores patients

N° Patient	Classe d'âge	NSC	Note brute		Ecart-type		Note brute		Ecart-type		Note brute		Ecart-type		Note brute		Ecart-type	
			permutations quantitatif /50	permutations quantitatif	permutations qualitatif /50	permutations qualitatif	combinaisons quantitatif /50	combinaisons quantitatif	combinaisons qualitatif /50	combinaisons qualitatif	arrangements quantitatif /50	arrangements quantitatif	arrangements qualitatif /50	arrangements qualitatif				
1	C2	NSC2	50	0,933353413	45	1,666380707	50	0,632455532	50	2,044068379	50	0,751077384	46,875	1,322175622				
2	C1	NSC1	48,33333333	0,807058067	10	-0,227683701	50	0,632455532	33,92857143	1,043721918	50	0,751077384	28,125	0,041744148				
3	C3	NSC1	21,66666667	-1,213667474	-5	-1,03942559	31,57894737	-3,794733192	-21,42857143	-2,401915893	13,75	-2,923947348	-10,75	-2,613017109				
4	C1	NSC1	50	0,933353413	27,5	0,719348503	50	0,632455532	35,71428571	1,154871524	50	0,751077384	37,5	0,681959885				
5	C1	NSC2	50	0,933353413	20	0,313477559	47,36842105	0	10,71428571	-0,401222971	50	0,751077384	34,375	0,468554639				
6	C2	NSC2	31,66666667	-0,455895396	5	-0,49826433	50	0,632455532	21,42857143	0,26567467	35	-0,769622505	14,5	-0,888702723				
7	C1	NSC2	36,66666667	-0,077009358	2,5	-0,63354645	50	0,632455532	28,57142857	0,710273097	50	0,751077384	31,25	0,255149394				
8	C2	NSC1	30	-0,582190743	-5	-1,03942559	44,73684211	-0,632455532	7,142857143	-0,623522184	25	-1,783422431	11,375	-1,102107969				
9	C3	NSC2	50	0,933353413	45	1,666380707	50	0,632455532	33,92857143	1,043721918	50	0,751077384	50	1,535580868				
10	C3	NSC1	15	-1,71884886	-10	-1,31006219	36,84210526	-2,529822128	0	-1,068120612	26,25	-1,65669744	-7,625	-2,399611863				
11	C2	NSC2	50	0,933353413	42,5	1,531090392	50	0,632455532	32,14285714	0,932572311	50	0,751077384	37,5	0,681959885				
12	C2	NSC1	23,33333333	-1,087372128	5	-0,49826433	44,73684211	-0,632455532	-8,928571429	-1,623868646	35	-0,769622505	17,625	-0,675297478				
13	C1	NSC2	50	0,933353413	15	0,042896929	50	0,632455532	21,42857143	0,26567467	50	0,751077384	28,125	0,041744148				
14	C3	NSC2	40	0,175581335	20	0,313477559	47,36842105	0	10,71428571	-0,401222971	47,5	0,497627403	7,125	-1,392339103				
15	C2	NSC2	16,66666667	-1,592553513	10	-0,227683701	50	0,632455532	26,78571429	0,59912349	40	-0,262722542	17,625	-0,675297478				
16	C3	NSC1	30	-0,582190743	15	0,042896929	44,73684211	-0,632455532	17,85714286	-0,956971005	35	-0,769622505	17,625	-0,675297478				
17	C2	NSC2	18,33333333	-1,466258167	0	-0,76884496	50	0,632455532	32,14285714	0,932572311	42,5	-0,00927256	34,8125	0,498431374				
18	C2	NSC2	48,33333333	0,807058067	7,5	-0,362974015	50	0,632455532	17,85714286	0,043375456	50	0,751077384	43,75	1,108770377				
19	C2	NSC2	50	0,933353413	17,5	0,178187244	47,36842105	0	-7,142857143	-1,512719039	50	0,751077384	31,25	0,255149394				
20	C1	NSC2	50	0,933353413	25	0,584058188	50	0,632455532	25	0,487973884	50	0,751077384	31,25	0,255149394				
21	C1	NSC2	35	-0,203304704	7,5	-0,362974015	44,73684211	-0,632455532	-7,142857143	-1,512719039	48,75	0,624352393	31,25	0,255149394				
22	C1	NSC2	48,33333333	0,807058067	10	-0,227683701	50	0,632455532	19,64285714	0,154525063	50	0,751077384	28,125	0,041744148				
23	C2	NSC2	16,66666667	-1,592553513	-20	-1,851167479	39,47368421	-1,897366596	7,142857143	-0,623522184	27,5	-1,529972449	30,125	0,178323505				
24	C3	NSC2	11,66666667	-1,971439552	-22,5	-1,986457793	50	0,632455532	7,142857143	-0,623522184	41,25	-0,135997551	14,5	-0,888702723				
25	C2	NSC1	50	0,933353413	22,5	0,448767874	47,36842105	0	7,142857143	-0,623522184	50	0,751077384	31,25	0,255149394				
27	C1	NSC2	50	0,933353413	17,5	0,178187244	44,73684211	-0,632455532	3,571428571	-0,845821398	40	-0,262722542	16,5	-0,752123366				
28	C3	NSC2	50	0,933353413	50	1,936961337	50	0,632455532	39,28571429	1,377170738	50	0,751077384	50	1,535580868				
29	C2	NSC2	50	0,933353413	47,5	1,801671022	50	0,632455532	17,85714286	0,043375456	50	0,751077384	50	1,535580868				
30	C1	NSC2	30	-0,582190743	17,5	0,178187244	50	0,632455532	37,5	1,266021131	50	0,751077384	37,5	0,681959885				
31	C2	NSC2	31,66666667	-0,455895396	0	-0,76884496	47,36842105	0	14,28571429	-0,178923757	47,5	0,497627403	7,125	-1,392339103				
32	C2	NSC1	45	0,554467374	7,5	-0,362974015	47,36842105	0	21,42857143	0,26567467	27,5	-1,529972449	27	-0,03508174				
34	C1	NSC2	50	0,933353413	22,5	0,448767874	44,73684211	-0,632455532	14,28571429	-0,178923757	50	0,751077384	37,5	0,681959885				
35	C1	NSC2	25	-0,961076782	0	-0,76884496	50	0,632455532	32,14285714	0,932572311	33,75	-0,896347496	17,625	-0,675297478				
36	C1	NSC1	50	0,933353413	27,5	0,719348503	50	0,632455532	25	0,487973884	50	0,751077384	50	1,535580868				
37	C1	NSC2	50	0,933353413	43,75	1,59873555	50	0,632455532	28,57142857	0,710273097	50	0,751077384	42,1875	1,002607754				
38	C1	NSC2	30	-0,582190743	12,5	-0,092393386	50	0,632455532	10,71428571	-0,401222971	50	0,751077384	30,125	0,178323505				
39	C1	NSC2	11,66666667	-1,971439552	-5	-1,03942559	44,73684211	-0,632455532	0	-1,068120612	28,75	-1,403247459	14,5	-0,888702723				
40	C2	NSC1	31,66666667	-0,455895396	-2,5	-0,904135275	39,47368421	-1,897366596	-10,71428571	-1,735018253	32,5	-1,023072486	24,3125	-0,218610252				
41	C2	NSC2	50	0,933353413	46,25	1,734025865	50	0,632455532	37,5	1,266021131	50	0,751077384	40,625	0,895365131				
42	C2	NSC2	36,66666667	-0,077009358	12,5	-0,092393386	50	0,632455532	28,57142857	0,710273097	41,25	-0,135997551	29	0,101497617				
43	C2	NSC2	31,66666667	-0,455895396	-5	-1,03942559	47,36842105	0	17,85714286	0,043375456	27,5	-1,529972449	16,5	-0,752123366				

Annexe 5 : Tableau 2 : scores Stroop Victoria mis en rapport avec scores à l'ERLA

N° Patient	Stroop Victoria	Permutation quantitatif	Permutation qualitatif	Combinaison quantitatif	Combinaison qualitatif	Arrangement quantitatif	Arrangement qualitatif
1	SV2	M	M	M	S	M	M
2	SV3	M	M	M	M	M	M
3	SV3	M	M	D	D	D	D
4	SV3	M	M	M	M	M	M
5	SV2	M	M	M	M	M	M
6	SV3	M	M	M	M	M	M
7	SV2	M	M	M	M	M	M
8	SV2	M	M	M	M	M	M
9	SV1	M	M	D	M	M	M
10	SV1	M	M	M	M	M	D
11	SV2	M	M	M	M	M	M
12	SV2	M	M	M	M	M	M
13	SV2	M	M	M	M	M	M
14	SV2	M	M	M	M	M	M
15	SV1	M	M	M	M	M	M
16	SV2	M	M	M	M	M	M
17	SV3	M	M	M	M	M	M
18	SV2	M	M	M	M	M	M
19	SV2	M	M	M	M	M	M
20	SV2	M	M	M	M	M	M
21	SV3	M	M	M	M	M	M
22	SV2	M	M	M	M	M	M
23	SV2	M	M	M	M	M	M
24	SV2	M	M	M	M	M	M
25	SV3	M	M	M	M	M	M
27	SV2	M	M	M	M	M	M
28	SV1	M	M	M	M	M	M
29	SV2	M	M	M	M	M	M
30	SV3	M	M	M	M	M	M
31	SV2	M	M	M	M	M	M
32	SV1	M	M	M	M	M	M
34	SV2	M	M	M	M	M	M
35	SV2	M	M	M	M	M	M
36	SV2	M	M	M	M	M	M
37	SV2	M	M	M	M	M	M
38	SV2	M	M	M	M	M	M
39	SV2	M	M	M	M	M	M
40	SV2	M	M	M	M	M	M
41	SV1	M	M	M	M	M	M
42	SV2	M	M	M	M	M	M
43	SV2	M	M	M	M	M	M

Tableau 3 : récapitulatif groupes scores Stroop Victoria mis en rapport avec groupes scores ERLA						
Nombre de patients par groupes de scores (Stroop Victoria)	Dont : (groupes de scores à l'ERLA)					
	Permutations quantitatif	Permutations qualitatif	Combinaisons quantitatif	Combinaisons qualitatif	Arrangements quantitatif	Arrangements qualitatif
SV1 N = 6	S = 0 M = 6 D = 0	S = 0 M = 6 D = 0	S = 0 M = 5 D = 1	S = 0 M = 6 D = 0	S = 0 M = 6 D = 0	S = 0 M = 5 D = 1
SV2 N = 27	S = 0 M = 27 D = 0	S = 0 M = 27 D = 0	S = 0 M = 27 D = 0	S = 1 M = 26 D = 0	S = 0 M = 27 D = 0	S = 0 M = 27 D = 0
SV3 N = 8	S = 0 M = 8 D = 0	S = 0 M = 8 D = 0	S = 0 M = 7 D = 1	S = 0 M = 7 D = 1	S = 0 M = 6 D = 1	S = 0 M = 7 D = 1

Annexe 6 : Tableau 4 : scores Alpha Span mis en rapport avec scores à l'ERLA

N° Patient	Alpha-span	Permutation quantitatif	Permutation qualitatif	Combinaison quantitatif	Combinaison qualitatif	Arrangement quantitatif	Arrangement qualitatif
1	AS2	M	M	M	S	M	M
2	AS2	M	M	M	M	M	M
3	AS2	M	M	D	D	D	D
4	AS2	M	M	M	M	M	M
5	AS2	M	M	M	M	M	M
6	AS2	M	M	M	M	M	M
7	AS2	M	M	M	M	M	M
8	AS2	M	M	M	M	M	M
9	AS2	M	M	D	M	M	M
10	AS2	M	M	M	M	M	D
11	AS3	M	M	M	M	M	M
12	AS2	M	M	M	M	M	M
13	AS2	M	M	M	M	M	M
14	AS2	M	M	M	M	M	M
15	AS2	M	M	M	M	M	M
16	AS2	M	M	M	M	M	M
17	AS2	M	M	M	M	M	M
18	AS2	M	M	M	M	M	M
19	AS2	M	M	M	M	M	M
20	AS2	M	M	M	M	M	M
21	AS2	M	M	M	M	M	M
22	AS2	M	M	M	M	M	M
23	AS2	M	M	M	M	M	M
24	AS2	M	M	M	M	M	M
25	AS2	M	M	M	M	M	M
27	AS2	M	M	M	M	M	M
28	AS2	M	M	M	M	M	M
29	AS2	M	M	M	M	M	M
30	AS2	M	M	M	M	M	M
31	AS2	M	M	M	M	M	M
32	AS2	M	M	M	M	M	M
34	AS2	M	M	M	M	M	M
35	AS2	M	M	M	M	M	M
36	AS2	M	M	M	M	M	M
37	AS2	M	M	M	M	M	M
38	AS1	M	M	M	M	M	M
39	AS2	M	M	M	M	M	M
40	AS2	M	M	M	M	M	M
41	AS2	M	M	M	M	M	M
42	AS2	M	M	M	M	M	M
43	AS2	M	M	M	M	M	M

Tableau 5 : récapitulatif groupes scores Alpha Span mis en rapport avec groupes scores ERLA

	Dont : (groupes de scores à l'ERLA)
--	-------------------------------------

Nombre de patients par groupes de scores (Alpha Span)	Permutations quantitatif	Permutations qualitatif	Combinaisons quantitatif	Combinaisons qualitatif	Arrangements quantitatif	Arrangements qualitatif
AS1 N = 1	S = 0 M = 1 D = 0					
AS2 N = 39	S = 0 M = 39 D = 0	S = 0 M = 39 D = 0	S = 0 M = 37 D = 2	S = 1 M = 37 D = 1	S = 0 M = 38 D = 1	S = 0 M = 37 D = 2
AS3 N = 1	S = 0 M = 1 D = 0					

Annexe 7 : Tableau 6 : scores TMT mis en rapport avec scores à l'ERLA

N° Patient	groupe TMT	P quanti	P quali	C quanti	C quali	A quanti	A quali
1	TMT1	M	M	M	S	M	M
2	TMT1	M	M	M	M	M	M
3	TMT1	M	M	D	D	D	D
4	TMT2	M	M	M	M	M	M
5	TMT2	M	M	M	M	M	M
6	TMT2	M	M	M	M	M	M
7	TMT2	M	M	M	M	M	M
8	TMT2	M	M	M	M	M	M
9	TMT2	M	M	D	M	M	M
10	TMT1	M	M	M	M	M	D
11	TMT1	M	M	M	M	M	M
12	TMT1	M	M	M	M	M	M
13	TMT2	M	M	M	M	M	M
14	TMT2	M	M	M	M	M	M
15	TMT1	M	M	M	M	M	M
16	TMT2	M	M	M	M	M	M
17	TMT1	M	M	M	M	M	M
18	TMT2	M	M	M	M	M	M
19	TMT2	M	M	M	M	M	M
20	TMT2	M	M	M	M	M	M
21	TMT2	M	M	M	M	M	M
22	TMT2	M	M	M	M	M	M
23	TMT1	M	M	M	M	M	M
24	TMT2	M	M	M	M	M	M
25	TMT2	M	M	M	M	M	M
27	TMT1	M	M	M	M	M	M
28	TMT2	M	M	M	M	M	M
29	TMT2	M	M	M	M	M	M
30	TMT2	M	M	M	M	M	M
31	TMT2	M	M	M	M	M	M
32	TMT3	M	M	M	M	M	M
34	TMT2	M	M	M	M	M	M
35	TMT2	M	M	M	M	M	M
36	TMT2	M	M	M	M	M	M
37	TMT2	M	M	M	M	M	M
38	TMT2	M	M	M	M	M	M
39	TMT2	M	M	M	M	M	M
40	TMT2	M	M	M	M	M	M
41	TMT2	M	M	M	M	M	M
42	TMT2	M	M	M	M	M	M
43	TMT2	M	M	M	M	M	M

Tableau 7 : récapitulatif groupes scores TMT mis en rapport avec groupes scores ERLA

Dont : (groupes de scores à l'ERLA)

Nombre de patients par groupes de scores (Trail Making Test)	Permutations quantitatif	Permutations qualitatif	Combinaisons quantitatif	Combinaisons qualitatif	Arrangements quantitatif	Arrangements qualitatif
TMT1 N = 10	S = 0 M = 10 D = 0	S = 0 M = 10 D = 0	S = 0 M = 9 D = 1	S = 1 M = 8 D = 1	S = 0 M = 9 D = 1	S = 0 M = 8 D = 2
TMT2 N = 20	S = 0 M = 20 D = 0	S = 0 M = 20 D = 0	S = 1 M = 19 D = 0	S = 0 M = 20 D = 0	S = 0 M = 20 D = 0	S = 0 M = 20 D = 0
TMT3 N = 1	S = 0 M = 1 D = 0					

Exploration de la combinatoire auprès d'une population d'adultes sains : constitution d'une base de données utile à l'évaluation et à la prise en soin orthophonique des patients adultes cérébrolésés

Mémoire présenté par Grâce RUDIO

En vue de l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie

Résumé : Concomitamment à une lésion cérébrale, le raisonnement logique des adultes peut se voir atteint (Rigolet, 1997 ; Gendre Grenier et Vailland, 2013). Lors de ce genre d'atteintes, la priorité en orthophonie est donnée à la rééducation des dysphagies et à la réhabilitation langagière, et ce versant logico-mathématique reste peu investigué. Or nous savons aussi que ces compétences sont liées au langage (pragmatique) (Bellot et Trinquesse, 2009 ; Cavé, 2014 ; Altenburger, 2016 ; Brylinski et Delbaere, 2018) et au raisonnement (résolution de problèmes, formulation d'hypothèse) (Dolle, 2005). A la suite du mémoire de Vincens & Casanovas (2020), nous proposons d'investiguer la combinatoire logico-mathématique, gage de maturation de la pensée opératoire formelle (Piaget, 1970, 1966 ; Houdé, 2018 ; Dolle, 2013 ; Chalon-Blanc, 1997), chez une population d'adultes sans lésion cérébrale afin de proposer une base de données utile à leur évaluation en orthophonie. Nous avons réuni 41 adultes tout-venants, et leur avons présenté des tests neuropsychologiques ainsi que l'ERLA, afin d'évaluer leurs fonctions exécutives et leurs compétences en combinatoire (permutations, combinaisons, arrangements). Nous avons formé plusieurs groupes de patients par âges, niveau socio-culturel, et performances en fonctions exécutives. Les résultats de notre étude montrent que les adultes ne sont majoritairement pas opérants en combinatoire logique, et que leurs performances varient en fonction du niveau socio-culturel. Nous n'avons pas mis à jour de corrélation entre les processus exécutifs ou l'âge et les compétences en combinatoire.

Mots clés : lésions cérébrales – raisonnement logique – combinatoire – orthophonie – évaluation – fonctions cognitives – fonctions exécutives – vieillissement – niveau socio-culturel – ERLA – adultes – stade opératoire formel.

Abstract: Adult's logical reasoning can be impacted by a cerebral lesion (Rigolet, 1997; Gendre Grenier & Vailland, 2013). Speech therapy's priority in this case is to rehabilitate dysphagia or speech and language disorders, and this logical-mathematical side is often not assessed, even though we know that these competences are linked with language's pragmatic abilities (Bellot et Trinquesse, 2009; Altenburger, 2016; Brylinski et Delbaere, 2018) and with reasoning (problem solving, hypothesis formulation) (Dolle, 2005). Following Vincens & Casanovas's study (2020), we are proposing to investigate logical-mathematical combinatorics, which is an ability reflecting the full development of formal operational thought (Piaget, 1970, 1966; Houdé, 2018; Dolle, 2013; Chalon-Blanc, 1997), in a population of adults without any cerebral injury, so we can provide a useful data basis in speech and language therapy. We gathered 41 "all comers" adults, whom we assessed using neuropsychological tests, as well as the ERLA, so we could evaluate their executive functioning and their competences in logical combinatorics (permutations, arrangements, combinations). We have formed several groups of patients by age, socio-cultural level, and scores in executive functions. The results of our study show that this population is mostly ineffective in logical combinatorics, and that their performances variate following their social-cultural level. We could not bring up any correlation with executive processing or age and their competences in logical combinatorics.

Key words: cerebral injury – logical reasoning – combinatorics – speech and language therapy – evaluation – executive functions – aging – social-cultural level – ERLA – adults – formal operational thought.

74 pages

Président du jury : Dr. François SELLAL, neurologue

Directrice de mémoire : Mme Caroline DENIS-FAERBER, orthophoniste, enseignante au CFUO de Strasbourg, enseignante au CFUO de Poitiers

Rapporteuse : Mme Louise GENDRE-GRENIER, orthophoniste, formatrice Cogi'act, enseignante au DUO de Nancy