



Centre de  
Formation  
Universitaire en  
Orthophonie de  
Strasbourg

Mémoire présenté en vue de l'obtention du  
**Certificat de Capacité d'Orthophoniste**

Exploration de la structure logique de sériation auprès d'une population  
d'adultes sains : élaboration d'une base de données utile à l'évaluation et  
à la prise en soin orthophonique des adultes cérébrolésés

Lucie FILLOT

Pauline KEMPF

Année universitaire 2022-2023

**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

**Rapportrice** : Mme Julie ALTENBURGER, orthophoniste



# Remerciements

## *Remerciements communs*

Nous souhaitons tout d'abord remercier chaleureusement les membres de notre jury.

Au Docteur Sellal de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.

A Madame Denis-Faerber, notre directrice de mémoire, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses conseils avisés, sa confiance, son investissement tout au long de notre travail mais aussi tout au long de nos études. Merci de nous avoir donné le goût des logico-mathématiques !

A Madame Altenburger, notre rapportrice, pour sa confiance, son intérêt dans notre projet, sa disponibilité et ses précieux commentaires.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique du Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Strasbourg et nos professeurs de ces cinq dernières années.

Enfin, nous exprimons toute notre gratitude aux sujets de notre étude : merci pour votre participation, votre motivation et votre intérêt pour notre projet. Sans vous, ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

## *Remerciements Pauline*

Je tiens à remercier mes parents, mon compagnon, ma sœur pour leur soutien sans faille durant ces cinq années d'études : c'était un chemin difficile mais nous avons réussi à en voir le bout. Sans vous je ne serais pas arrivée là où je suis aujourd'hui. Merci d'avoir cru en mes projets, d'avoir accompagné mes rêves et d'avoir su me guider tout en sagesse. Ce diplôme, c'est le nôtre.

Merci à mes proches qui ont suivi mes études et qui m'ont soutenue.

Je remercie également tous mes professeurs, tous sans exception, qui m'ont portée tout au long de mes années sur les bancs de l'école. J'ai une pensée particulière pour JPK qui n'a eu de cesse de me répéter que « le langage reflète la pensée ». Vous avez largement contribué au choix de ma voie professionnelle.

J'ai une pensée amicale pour toutes mes maîtres de stage qui m'ont permis de découvrir l'orthophonie à travers leurs prismes. Ma pratique et mon identité professionnelle s'inspirent de chacune d'entre vous.

Enfin, last but not least, un grand merci à ma super binôme de mémoire mais aussi de ces cinq dernières années : Lucie. Merci pour ta confiance, ta bonne humeur, tes talents en informatique et ton soutien. Nous avons réussi à voir le bout de nos études ensemble et j'espère que notre amitié bourguigno-alsacienne durera toujours.

### *Remerciements Lucie*

Je tiens à remercier mes parents pour leur conviction inébranlable et leur présence de toujours. Merci d'avoir voyagé à travers toute la France avec moi pendant les concours et merci d'avoir fait « un investissement sur l'avenir », comme vous le dites si bien. Je suis si heureuse de voir tout cela porter ses fruits.

Merci à ma famille pour leur soutien pendant ces cinq années intenses et pendant toutes celles avant l'orthophonie.

A Justine : merci pour ta compréhension, ton soutien, ton humour et ton amitié sans faille. Merci pour toutes les fois où tu as levé les yeux au ciel en m'entendant dire que je n'aurai pas le niveau. J'ai tellement hâte de vivre à nouveau dans la même région que toi.

J'ai une pensée émue pour toutes ces belles personnes rencontrées au sein du CFUOS qui, parfois sans le savoir, m'ont impactée aussi bien personnellement que professionnellement. Ne plus vous croiser aussi régulièrement va être un grand changement.

A mes filleules ortho, officielle et officieuses, je vous souhaite les études les plus douces et les plus enrichissantes possible ; je sais que vous les méritez amplement.

Merci également à notre promo 2018-2023 d'avoir été aussi bienveillante, solidaire et pleine de vie ; ces études n'auraient pas été aussi agréables sans cette atmosphère.

Et surtout, merci à toi, Pauline. Depuis le tout premier jour de ces études jusqu'au tout dernier, de simples voisines de table à binômes de mémoire : ces cinq ans n'auraient pas été les mêmes sans toi. J'ai l'impression que tout est allé trop vite et que l'on n'a rien eu le temps de se dire, et pourtant tout le voisinage en avait marre de nous entendre papoter sous ta fenêtre. Je repars en Bourgogne avec un seul regret : pour la première fois depuis cinq ans, ton bureau ne sera pas à côté du mien. Malgré tout, je sais que la distance ne changera rien à notre amitié.

J'ai hâte de nous découvrir en tant que collègues.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE THÉORIQUE.....</b>	<b>2</b>
<b>I. LES STRUCTURES LOGIQUES DE J. PIAGET.....</b>	<b>2</b>
1. <i>Rappels sur la théorie piagétienne du développement cognitif.....</i>	2
1.1 L'épistémologie génétique.....	2
1.2 L'assimilation et l'adaptation, deux mécanismes de l'adaptation.....	2
2. <i>Les stades du développement intellectuel de l'enfance à l'adolescence .....</i>	3
2.1. Le stade sensori-moteur.....	4
2.2. Le stade de la pensée opératoire concrète .....	4
2.3. Le stade de l'intelligence opératoire formelle.....	5
2.4. La remise en question du modèle stadiste de Piaget .....	6
3. <i>La structure logique de sériation .....</i>	7
3.1. Définitions de la sériation .....	7
3.2. Les différents types de sériations et leur développement selon Piaget.....	8
3.2.1. Les différents types de sériations.....	8
3.2.2. Le développement des sériations selon Piaget .....	9
3.3. Les correspondances sériales.....	12
3.4. Les repères de développement des sériations selon la batterie ERLA.....	13
<b>II. LE LIEN ENTRE LES STRUCTURES LOGIQUES ET LE LANGAGE .....</b>	<b>16</b>
1. <i>Piaget et la relation entre langage et structures logiques.....</i>	16
1.1. Définition du langage.....	16
1.2. Les hypothèses de Piaget sur le lien entre langage et structures logiques .....	18
2. <i>Le lien entre la structure logique de sériation et le langage.....</i>	20
2.1. Dans la vie quotidienne .....	20
2.2. La linguistique.....	20
2.3. Les récits.....	22
2.4. La pragmatique.....	23
2.5. La construction du nombre .....	23
<b>III. STRUCTURES LOGIQUES ET LÉSIONS CÉRÉBRALES ACQUISES .....</b>	<b>24</b>
1. <i>Substrats anatomiques des structures logiques et lien avec les fonctions exécutives .....</i>	24
1.1 Les substrats anatomiques des structures logiques.....	24
1.2 Les fonctions exécutives : définitions et influences du vieillissement et du bilinguisme .....	26
1.2.1 Définitions.....	26
1.2.2 L'influence du vieillissement sur les fonctions exécutives.....	27
1.2.3 L'influence du bilinguisme sur les fonctions exécutives .....	28
1.3 Le rôle de l'inhibition dans le développement cognitif : un lien entre les fonctions exécutives et les structures logiques de Piaget.....	29
2. <i>Le patient cérébrolésé .....</i>	30
2.1 Définition et étiologies.....	30
2.2 Les conséquences de la lésion cérébrale acquise .....	31
2.3 Les troubles logiques observés chez le patient cérébrolésé .....	32
3. <i>Les enjeux de la rééducation orthophonique du patient cérébrolésé.....</i>	34
3.1 La rééducation orthophonique du langage et de la communication du patient cérébrolésé .....	34
3.2 La rééducation orthophonique des troubles logiques du patient cérébrolésé .....	34
3.3 Le bilan orthophonique des structures logiques chez l'adulte cérébrolésé .....	35
<b>PARTIE PRATIQUE.....</b>	<b>37</b>
<b>HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS .....</b>	<b>37</b>
<b>MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>38</b>
1. <i>La population de l'étude .....</i>	38
1.1 Critères d'inclusion.....	38
1.2 Critères d'exclusion.....	38

1.3 Répartition des sujets.....	38
<b>2. Matériel de passation .....</b>	<b>39</b>
2.1 Tests d'inclusion à l'étude .....	39
2.1.1 Language Screening Test (LAST) .....	39
2.1.2 Mini Mental State Exam (MMSE version consensuelle du GRECO).....	40
2.2 Épreuves relatives aux fonctions exécutives .....	40
2.2.1 Le Trail Making Test (TMT).....	40
2.2.2 Le Stroop Victoria.....	41
2.3 Épreuves de sériation.....	42
2.3.1 L'épreuve de sériation intercalaire (batterie ERLA) .....	42
2.3.2 L'épreuve de correspondances sériales .....	43
2.3.3 Cotation aux épreuves de sériation .....	47
2.3.3.1 Grille des niveaux de sériation selon les auteurs de l'ERLA .....	47
2.3.3.2 Grille d'analyse qualitative.....	47
<b>3. Procédure générale de passation.....</b>	<b>47</b>
<b>4. Test statistique utilisé.....</b>	<b>48</b>
<b>RÉSULTATS .....</b>	<b>49</b>
1. Résultats aux épreuves de sériation.....	49
2. Fonctions exécutives .....	50
3. Inhibition.....	51
4. Âge.....	52
5. Bilinguisme.....	53
<b>INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS .....</b>	<b>54</b>
1. Analyses qualitatives des épreuves de sériation .....	54
1.1. Grille qualitative pour la manipulation.....	54
1.2. Grille qualitative des conduites verbales expressives.....	56
1.3. Grille qualitative des conduites verbales réceptives.....	58
1.4. Synthèse des grilles qualitatives.....	60
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>62</b>
<b>1. LES LIMITES.....</b>	<b>62</b>
1.1 Les biais .....	62
1.2. Les conditions de passation .....	63
1.3 Les épreuves.....	63
<b>2.LES INTÉRÊTS DE NOTRE MÉMOIRE.....</b>	<b>65</b>
<b>3. LES PERSPECTIVES .....</b>	<b>66</b>
3.1 Perspectives de recherches.....	66
3.2 Perspectives orthophoniques .....	68
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>77</b>

## Introduction

Le terme de « cérébrolésé acquis » désigne un patient victime de lésions cérébrales non congénitales dont les étiologies sont variées, la plus fréquente au niveau mondial étant l'accident vasculaire cérébral (AVC). En France, 150.000 personnes par an seraient victimes d'un AVC selon l'ARS Ile de France. Ce dernier constitue ainsi la première cause de handicap acquis chez l'adulte, ce qui en fait une problématique majeure de santé publique.

L'orthophoniste intervient auprès de ces patients afin d'évaluer et de rééduquer si besoin les troubles de la déglutition, de la phonation, de la communication et du langage consécutifs à la lésion cérébrale acquise. Depuis peu, les troubles logico-mathématiques s'ajoutent également à cette liste puisque des études dont celles de Gendre-Grenier et Vaillandet (2013) et de Cavé (2014) ont observé chez des patients victimes de lésions cérébrales acquises des troubles logiques et un retour à la pensée pré-opératoire.

Le trouble logique se définit comme une perturbation de l'une ou plusieurs des structures logiques se développant pendant l'enfance mises en exergue par Piaget (1959). L'étude d'Altenburger (2016) a par ailleurs pu mettre en avant le lien entre logique et pragmatique ainsi qu'une augmentation significative de la récupération des compétences pragmatiques et communicationnelles lors de la rééducation des structures logiques incluant la sériation, prouvant l'importance de la prise en soin orthophonique des troubles logiques chez l'adulte cérébrolésé.

La rééducation orthophonique s'établit à partir des données du bilan, qui permettent d'objectiver le profil du patient à travers ses difficultés et ses compétences. L'établissement du profil du patient se fait à partir de données étalonnées, recueillies auprès d'une population saine. Cependant, les études proposant des bases de données concernant les structures logiques et leur opérationnalité dans la population adulte sont rares à ce jour (Gendre-Grenier et Vaillandet, 2013). En effet, les batteries de bilan orthophonique se basent sur les théories de Piaget (1959), ce qui signifie que les bases de données existantes ne prennent en compte que les enfants.

Les études de Vincens & Casanovas (2020) et Rudio (2022) ont proposé une exploration des structures logiques de classification et de combinatoire auprès d'une population d'adultes sains et ont démontré que les adultes n'étaient pas opérants en classification et en combinatoire selon les critères attendus, contrairement à ce qu'avancent les théories piagésiennes. De ce fait, l'exploration des structures logiques piagésiennes permettant de rendre compte de leur opérationnalité chez l'adulte sain semble nécessaire.

Ce mémoire d'orthophonie s'inscrit ainsi dans la continuité de ceux de Vincens & Casanovas (2020) et de Rudio (2022) et propose d'explorer la structure logique de sériation auprès d'une population d'adultes sains.

L'exploration de cette structure a pour but l'élaboration d'une base de données de la structure de sériation. Cette dernière vise à adapter l'évaluation puis la rééducation de la structure logique de sériation chez l'adulte cérébrolésé.

# Partie théorique

## I. Les structures logiques de J. Piaget

### 1. Rappels sur la théorie piagétienne du développement cognitif

#### 1.1 L'épistémologie génétique

Jean Piaget est le chef de file de l'épistémologie génétique qu'il décrit en 1970 comme étant une tentative d'expliquer la connaissance, sur la base de son histoire et de sa genèse sociale, et particulièrement les origines psychologiques des notions et des opérations sur lesquelles la connaissance se base.

Laval (2019) décrit l'épistémologie génétique comme ayant pour objet d'étude « l'évolution de la connaissance scientifique à travers la genèse psychologique de l'intelligence » (Laval, 2019).

Selon Piaget, l'origine de la connaissance, de l'intelligence, se situe dans l'organisme du sujet et non pas dans l'environnement qui l'entoure. La théorie piagétienne est ainsi dite « constructiviste » puisqu'elle considère que l'individu comprend et appréhende le monde qui l'entoure grâce à des capacités cognitives qui lui sont intrinsèques.

Face à une situation problème, le sujet fait appel à des structures cognitives appelées « schèmes opératoires » par Piaget.

Ces schèmes opératoires ou « schèmes d'action » sont des prototypes des concepts et théorèmes.

Selon Laval (2019), le schème correspond à « la structure ou à l'organisation d'une action, susceptible de se répéter dans des situations semblables » (p.32).

Progressivement les schèmes se complexifient et se coordonnent entre eux.

#### 1.2 L'assimilation et l'adaptation, deux mécanismes de l'adaptation

Pour Piaget, l'adaptation et l'équilibration des schèmes est le propre de l'intelligence humaine et du développement de la connaissance.

Cette adaptation s'opère selon deux mécanismes régulés par l'équilibration : l'assimilation et l'accommodation.

L'assimilation correspond à la transformation de l'environnement par l'organisme (via le jeu de ses actions et de ses représentations). Piaget parle alors d'assimilation des données de l'expérience aux structures internes : schèmes ou concepts. L'assimilation permet donc d'intégrer de nouvelles données à des schèmes préexistants.

L'accommodation correspond à la transformation de l'organisme sous la pression du milieu. Piaget parle alors d'ajustement des structures internes aux données nouvelles. L'accommodation permet ainsi d'adapter des schèmes préexistants à de nouvelles données.



## **2. Les stades du développement intellectuel de l'enfance à l'adolescence**

Jean Piaget utilise le terme de « structures » pour décrire la nature de l'intelligence.

Une structure correspond à une organisation cognitive formalisable. Elle s'acquiert au courant de l'interaction entre un sujet et l'environnement physique qui l'entoure et principalement à partir de l'action de ce sujet sur l'environnement.

Cela revient à dire que l'intelligence se construit de manière active par le sujet qui assimile les données tirées de l'expérience aux connaissances dont il dispose déjà.

La construction des structures de l'intelligence se fait par pallier. Selon Jean Piaget, l'ensemble des individus construit les mêmes structures dans le même ordre à partir des mêmes processus : le développement intellectuel serait ainsi universel. (Piaget, 1970).

Toujours selon Piaget, le développement cognitif se rapporte à la construction successive de trois grandes structures qui correspondent en fait aux trois grands stades du développement intellectuel de l'enfant et de l'adolescent.

Les stades possèdent les propriétés suivantes :

- Un stade est caractérisé par une structure d'ensemble, une structure cognitive, de pensée. Lorsque la structure est construite, elle « détermine toutes les applications possibles » (Laval, 2019, p.43).
- Il y a une homogénéité des stades en termes de mode de raisonnement et d'action.
- On constate un ordre constant d'acquisition et de succession : les trois stades se succèdent dans un ordre irréversible et au sein d'un même stade les acquisitions sont ordonnées (Laval, 2019).
- On observe un caractère intégratif des stades : une structure construite lors d'un stade intègre de manière systématique les structures construites à un stade antérieur. « Les opérations concrètes, par exemple, sont parties intégrantes des opérations formelles, dans la mesure où les opérations formelles reposent à titre de contenu sur les opérations concrètes » (Laval, 2019, p.44).
- Il y a une certaine évolution à l'intérieur de chaque stade : chaque stade possède un niveau de préparation et un niveau d'achèvement. Le niveau de préparation correspond au « niveau de déséquilibre cognitif de la structure en voie de construction » et le niveau d'achèvement correspond à l'inverse au niveau « d'équilibre de la structure » (Laval, 2019, p.43-44).

## 2.1. Le stade sensori-moteur

Ce stade s'étend de la naissance à 2 ans, il est antérieur au langage et se caractérise par la construction de l'intelligence sensori-motrice.

L'intelligence sensori-motrice est une intelligence pratique, liée à l'action, sans représentations, qui s'applique sur les perceptions et les schèmes moteurs de l'enfant.

La centration de l'enfant sur l'action caractérise ce stade.

Le stade sensori-moteur est divisé en six sous-stades, durant lesquels vont apparaître notamment l'intelligence sensori-motrice (considérée par Piaget comme la première forme d'intelligence) et la permanence de l'objet.

## 2.2. Le stade de la pensée opératoire concrète

Il s'étend de 2 ans à 11-12 ans.

On y retrouve trois sous-stades :

La pensée symbolique	Elle correspond à « la capacité d'évoquer des objets ou des situations non perçues actuellement, en se servant de signes ou de symboles » (Piaget et Inhelder, 1963, p.69 cité par Laval, 2019).
L'intelligence pré-opératoire et intuitive	Caractérisée au début par un certain égocentrisme cognitif qui empêche l'enfant de se décentrer et de « coordonner son propre point de vue avec celui d'autrui » (Laval, 2019). Le langage est au départ égocentrique tout comme le raisonnement. Peu à peu, l'égocentrisme cognitif laisse place à une pensée intuitive. La pensée intuitive est une pensée pré-logique qui précède l'apparition des opérations. Elle apparaît vers 4-5 ans. L'enfant est très dépendant de sa perception pour réfléchir.
Pensée opératoire concrète	Elle marque le passage du figuratif ou de l'intuitif vers l'opératif.

**Tableau 1 : Les sous-stades de la pensée opératoire concrète.**

Le terme « opération » dérive du latin *operare* qui signifie « agir/ raisonner ». Les opérations correspondent à « un ensemble d'actions intériorisées, réversibles, et qui se coordonnent les unes aux autres en des systèmes d'ensemble » (Laval, 2019).

La réversibilité des actions intériorisées marque le passage de l'intuition à l'opération. De plus, cette réversibilité des transformations renvoie au fait qu'elles sont relatives à un invariant. Cet invariant correspond à ce que Piaget appelle la conservation.

Durant ce sous-stade, les actions de l'enfant ont lieu sur des objets réels, concrets, visibles ou imaginables qui font partie de son univers. Il pourra agir mentalement sur des données de la

réalité. Il se détache progressivement de sa perception pour porter le raisonnement au premier plan.

Durant le stade de la pensée opératoire concrète, deux types d'opérations apparaissent :

- Les opérations logico-mathématiques qui concernent les objets discontinus et qui mènent aux notions de sériation, de classification et de nombre.
- Les opérations infra-logiques qui concernent les quantités continues et mènent aux notions de temps, d'espace, à la constitution de l'objet comme tel (son poids, son volume, sa substance) et qui sont aux fondements de la mesure.

Aussi, trois capacités sont développées par l'enfant à ce stade puis finalisées au stade suivant :

- La transitivité qui correspond à la coordination en une seule action de deux actions successives. La transitivité se décline en deux types de relations : la relation d'équivalence (si  $a=b$  et  $b=c$  alors  $a=c$ ) et la relation d'ordre (si  $a>b$  et  $b>c$  alors  $a>c$ ), cette dernière caractérisant la sériation.
- La réversibilité qui correspond à la possibilité de retour à l'état initial après une transformation ( $a + b = c$  donc  $a = c - b$ ).
- L'associativité qui correspond au fait qu'un même résultat peut s'obtenir de plusieurs façons différentes ( $(a + b) + c = a + (b + c)$ ).

Ces trois fonctions interviennent dans la mobilité de pensée.

La mobilité de pensée associée aux structures logiques permet à l'enfant de développer son raisonnement.

### 2.3. Le stade de l'intelligence opératoire formelle

Ce stade s'étend de 11/ 12 ans à 16 ans.

L'adolescent construit lors de ce stade une nouvelle forme de raisonnement basée sur du matériel symbolique, dont le départ n'est plus constitué de propositions mais d'hypothèses. On parle alors d'opérations formelles puisque les opérations « sont transposées du domaine du concret à celui des hypothèses » (Laval, 2019).

Ce nouveau stade est rendu possible par la décentration du sujet qui atteindra un niveau d'abstraction suffisant lui permettant de se détacher du concret.

Le raisonnement peut alors se faire sur des propositions verbales qui ne sont pas directement en lien avec la réalité concrète.

Deux structures logiques rendent possible la manipulation des opérations formelles :

- La structure combinatoire (permettant le raisonnement sur les possibles).
- Le groupe INRC correspondant à quatre lois logiques de modifications de propositions à l'œuvre dans le raisonnement formel. Ce groupe s'énonce de la manière suivante : à chaque proposition I (opération Identique) on peut associer : son inverse ou sa négation (N), sa réciproque (R), l'inverse de sa réciproque ou Corrélatif (C).

On observe alors chez l'adolescent une pensée hypothético-déductive ou formelle permettant de formuler des hypothèses et de raisonner sur l'ensemble des possibles relatifs à une situation donnée.

A ce stade, la construction des structures logiques de la pensée s'achève.

L'adolescent fait preuve d'un haut niveau de planification, de réversibilité, de mobilité de pensée pour construire son raisonnement. Il peut en effet établir des plans d'actions et tenir compte de plusieurs variables.

#### 2.4. La remise en question du modèle stadiste de Piaget

Le modèle de développement proposé par Jean Piaget est un modèle stadiste dit « en escalier » (Houdé, 2007).

Les trois stades composant le modèle se succèdent dans un ordre bien précis et irréversible.

Cette vision stadiste est remise en question et modulée par certains auteurs qui précisent l'importance du rôle joué par les fonctions exécutives.

Russell (2000) explique que pour Piaget, l'échec aux tâches piagésiennes est considéré comme une « erreur de compétence » (Russell, 2000). En effet, l'échec est lié à l'absence ou au développement incomplet d'une compétence nécessaire à la réalisation de la tâche ?

Pour Houdé (1999) ou Diamond (1996), cités par Russell (2000), l'échec aux tâches piagésiennes est plutôt considéré comme une « erreur de performance ». Selon ces auteurs, la compétence nécessaire à la réussite de la tâche est présente « mais masquée par l'erreur de performance due à la faiblesse du contrôle exécutif » (Russell, 2000, p.271).

Ainsi, le contrôle exécutif est considéré comme central dans la résolution de tâches piagésiennes : le fait de donner la bonne réponse nécessite « d'inhiber la réponse prévalente et en même temps maintenir à l'esprit une information pertinente » (Russell, 2000, p.171).

Aussi, dans son modèle, Piaget pense la logique comme unique élément fondateur du nombre et de son acquisition.

Houdé (2014) ou encore Fayol (2018), modulent toutefois cette considération en expliquant que les troubles du traitement numérique et du calcul chez un enfant ou chez un adulte cérébrolésé ne relèvent possiblement pas tous d'un seul déficit logique.

En effet, Houdé met en évidence des erreurs de raisonnement qu'il identifie presque systématiquement chez des sujets ayant un niveau socio-culturel supérieur à la moyenne de la population. Il décrit ces biais de raisonnement comme des « tendances systématiques à prendre en considération des facteurs non pertinents pour la tâche à résoudre et à ignorer les facteurs pertinents » (Houdé, 2014, p.48 cité par Balas, 2020).

Ces erreurs de raisonnement placent le sujet hors de la logique formelle : sa pensée formelle régresse. L'identification de ces biais de raisonnement a permis à Houdé (2014) de théoriser un nouveau modèle expliquant les différents mécanismes sous-tendant le raisonnement.

Il décrit dans ce modèle trois systèmes parmi lesquels sont exposés deux systèmes concurrents et un système régulateur.

Les deux systèmes concurrents correspondent au système intuitif (appelé le « système 1 ») et le système logique (appelé le « système 2 »).

- Le système 1 est initié automatiquement et ne demande que peu de ressources attentionnelles. Il est dit intuitif puisqu'il se fonde sur des intuitions (comme par exemple des croyances ou encore des stéréotypes sociaux). C'est ce système 1 qui « est à l'origine des biais de raisonnement » (Balas, 2020).
- Le système 2, quant à lui, est plutôt régi par la logique déductive. Il est moins rapide que le système 1 puisqu'il est activé de manière consciente et non pas automatique. Ce système 2 correspond à la pensée formelle décrite par Piaget.
- Le système 3 joue un rôle de régulation des systèmes 1 et 2. On appelle le système 3, le "système exécutif". Il assure la médiation entre les systèmes 1 et 2 lorsque ces derniers entrent en conflit cognitif. Il a pour rôle d'inhiber le système 1 afin de permettre l'activation du système 2.

Houdé (2014, cité par Balas, 2020) explique que le système 3 « requiert un contrôle attentionnel et exécutif, puisqu'il fait appel à des mécanismes de réflexivité, d'inhibition et de flexibilité ».

### **3. La structure logique de sériation**

#### **3.1. Définitions de la sériation**

La sériation consiste à mettre en relation, à regrouper des éléments selon leurs différences ordonnées ou selon un critère continu (Dolle, 1991).

Elle fait partie des opérations logiques élémentaires tout comme la classification. Par ailleurs, Piaget décrit l'apparition de la classification et de la sériation se faisant lors d'une même période.

Francine Jaulin-Mannoni qualifie cette période comme « l'âge où l'enfant devient capable d'une pensée rétroactive, et anticipatrice englobant suffisamment de points de vue pour réunir toutes les actions et leurs inverses dans une structure stable » (Francine Jaulin-Mannoni, 1974). Piaget (1959) précise que les conduites de sériations se manifestent au moment où l'enfant commence à comparer les objets, à les organiser. On observe alors les « premières mises en ordre » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.166). Piaget (1959) cité par Voye, Frey et Guérin (2013, p.166) parle d'« activités perceptives, d'une part, mais aussi, d'autre part, activités sensorimotrices ou actions d'ordonner les objets ».

La mise en relation induite par la sériation demande au sujet de toujours considérer un élément de la série par rapport aux autres éléments la composant.

La sériation est classée par Francine Jaulin-Mannoni (1974) dans les structures d'ordre.

Les relations d'ordre possèdent trois propriétés :

- L'anti-réflexivité. Francine Jaulin-Mannoni définit la réflexivité comme suit : « un ensemble E est muni d'une relation réflexive si tout élément de E est dans cette relation avec lui-même » (Francine Jaulin-Mannoni, 1974, p.20). Ainsi, soit un ensemble E. L'anti-réflexivité correspond au fait que dans un ensemble E, aucun élément de cet ensemble n'est en relation avec lui-même. Si l'on prend l'exemple

particulier de la sériation, chaque élément de la série occupera une place unique, précise et ne sera en relation qu'avec les autres éléments et non avec lui-même (chaque élément sera « plus grand que » et « plus petit que » d'autres mais ne pourra être plus grand que lui-même).

- L'anti-symétrie. « Une relation est anti-symétrique si l'existence conjointe de cette relation entre  $x$  et  $y$  d'une part et  $y$  et  $x$  d'autre part, est impossible » (Francine Jaulin-Mannoni, 1974, p.20). Ainsi, soient deux éléments  $x$  et  $y$ . Si  $x$  est en relation avec  $y$ , il est impossible que  $y$  soit en relation avec  $x$ . Autrement dit, si  $x > y$  alors  $y > x$  est impossible. Les opérations de sériation sont considérées comme des relations asymétriques. Elles diffèrent donc des relations symétriques puisqu'elles « permet[tent] d'ordonner des objets les uns par rapport aux autres selon le critère fourni par cette relation » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.165).
- La transitivité. « Une relation est transitive, si, chaque fois qu'elle existe conjointement entre  $x$  et  $y$  et entre  $y$  et  $z$ , alors elle existe nécessairement entre  $x$  et  $z$  » (Francine Jaulin-Mannoni, 1974, p.20). Ainsi, soient trois éléments  $x$  ;  $y$  et  $z$ . Si  $x > y$  et  $y > z$ , alors on peut dire que  $x > z$ .

### 3.2. Les différents types de sériations et leur développement selon Piaget

#### 3.2.1. Les différents types de sériations

Piaget (1959) parle de deux types généraux de sériations :

- Les sériations additives dans lesquelles le critère de rangement est le seul critère (par exemple dans l'épreuve de sériation de baguettes où la longueur des baguettes est le seul critère).
- Les sériations multiplicatives qui portent sur plusieurs critères (par exemple l'épreuve de sériation des ronds, qui consiste en une série de 32 ronds pouvant être ordonnés simultanément selon leur grandeur et selon leur teinte (de plus en plus claire)).

Il existe plusieurs types de sériations (selon les objets constituant la série) décrits par Piaget :

- les sériations visuelles (de longueurs) ;
- les sériations tactiles (de poids).

Nous pouvons également ajouter à cette liste les sériations d'ordre numérique, puisqu'en effet, la sériation joue un rôle primordial dans l'acquisition de la suite ordonnée des nombres : 5 est par exemple plus grand que 4, qui lui-même est plus grand que 3 (Grégoire et al., 1997).

Selon Piaget et Szeminska, « le nombre est le résultat d'une synthèse opérée par l'esprit entre deux composantes logiques : l'ordre et la classe. C'est sur le principe d'une fusion entre la classe et l'ordre que s'appuie toute la reconstitution de la genèse du nombre » (Chalon-Blanc 2005 cité par Voye, Frey & Guérin, 2013).

Les sériations renvoient ainsi « à l'aspect ordinal » du nombre et les classes à « l'aspect cardinal » du nombre (Voye, Frey & Guérin, 2013).

Selon Guéritte-Hess et al. (2009), la sériation permet entre-autres de structurer la succession des nombres, de comparer les nombres deux à deux, de les situer sur la suite de zéro à l'infini. Elle joue également un rôle dans la mise en place de l'itération, c'est-à-dire du procédé qui permet de passer d'un nombre au suivant.

Nous nous intéresserons dans notre étude particulièrement au développement des sériations visuelles (de baguettes) puisque c'est ce type d'épreuve que nous utilisons auprès de notre population.

### 3.2.2. Le développement des sériations selon Piaget

#### *Différents niveaux de sériation*

Piaget décrit également trois niveaux de sériation que le sujet présente successivement au cours de son développement :

- Les sériations pratiques, aux alentours des 2 ans, lorsque l'enfant est capable d'encastrier, d'empiler, de construire des tours avec des objets de plus en plus petits.
- Les sériations concrètes, aux alentours de 7 ans, lorsque l'enfant série des baguettes de manière méthodique et a encore besoin d'un support réel pour raisonner.
- Les sériations verbales, aux alentours de 12 ans, lorsque l'enfant considère des propositions verbales. L'enfant est capable de raisonner à partir de connaissances abstraites sur les relations de sériation.

Les sériations verbales étant le plus haut niveau de sériation, elles signent le caractère opératoire de cette structure logique

#### *Le développement des sériations visuelles*

Nous nous intéresserons dans notre étude exclusivement aux sériations visuelles (de baguettes) pour lesquelles Jean Piaget décrit 4 stades successifs dans son ouvrage *Mémoire et Intelligence* (1968) :

<p><b>Stade 1 : « Aucun essai »</b></p>	<p>L'enfant n'effectue aucune tentative de sériation. Les actions effectuées n'ont pas de lien avec la consigne et les conduites sont avant tout figuratives. Ce stade est observé avant l'âge de 5 ans.</p>
<p><b>Stade 2 : « Échec à la série totale mais associations par qualités absolues (grand/ petit) ou par pré- relations »</b></p>	<p>On observe à ce stade des comparaisons de quelques éléments mais pas encore de coordination de comparaisons. L'enfant n'envisage que les états « grand » et « petit » des éléments de l'épreuve de sériation mais pas les relations « plus grand que/ plus petit que ». Jean Piaget décrit les étapes suivantes : « 2A : couples incoordonnés entre eux (couples d'éléments petits et grands) 2B : trios incoordonnés entre eux (par exemple ; un grand, un moyen, un petit) 2C : sériation à ligne des sommets correcte, mais pas de base horizontale 2D : sériation en toit : ascendante puis descendante (ou en creux) 2E : sériation correcte de 3 à 5-6 éléments par tâtonnement puis blocage »</p>
<p><b>Stade 3 : « Réussite par tâtonnements »</b></p>	<p>La sériation n'est pas encore opératoire, l'enfant réussit à réaliser la série par tâtonnement. Jean Piaget décrit le fait que si l'on donne à l'enfant lors de ce stade des nouveaux éléments à intercaler dans la série, il n'arrivera pas à les placer d'emblée dans la série, il ne trouvera pas de méthode et « préfère en général tout recommencer ».</p>
<p><b>Stade 4 : « Sériation opératoire »</b></p>	<p>La sériation est réalisée d'emblée par l'enfant. Elle est dite opératoire aux alentours de 8 ans. Selon Piaget, trois critères définissent cette sériation opératoire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les éléments intercalaires pourront être placés d'emblée dans la série selon l'ordre sérial ;</li> <li>- La transitivité est intégrée par l'enfant ;</li> <li>- L'enfant utilise une méthode systématique afin de sérier les éléments. Cette méthode consiste à se saisir du plus grand ou du plus petit élément restant afin de constituer la série.</li> </ul>

**Tableau 2 : Les stades de construction de la sériation visuelle de baguettes.**



### 3.2.3 La prise en compte des conduites langagières expressives et réceptives du sujet

#### *Les conduites langagières sur le versant expressif*

Piaget considérant une forte relation entre langage et pensée, les conduites langagières du sujet sont analysées lors des épreuves de sériations.

Les productions langagières permettent de vérifier le caractère opératoire de la sériation :

- Elles permettent d'identifier si l'individu considère les propriétés de taille ou de magnitude comme des états (« petit », « grand ») ou comme des relations (« plus grand que », « plus petit que », « moins grand que »).
- Elles jugent de l'intégration de la relation de transitivité et de la capacité de coordination des comparaisons (« elle est plus grande que et plus petite que » : coordination des comparaisons ; « elle est plus grande que mais aussi plus grande que » : transitivité).

A l'instar de Piaget, Sinclair (1967), cité par Retschitzki (1978), corrèle les conduites langagières et le mode de raisonnement de l'individu au cours de l'épreuve de sériation de baguettes.

Elle met en évidence quatre catégories de descriptions verbales pouvant être observées lors des épreuves de sériation :

- Les dichotomies : La description de la série par le sujet se fait à travers l'emploi de deux seuls termes : « petit » et « grand ».  
Il procède alors à une description par catégories (« petit », « grand ») ou par dissociation de la série en couples successifs (« un petit, un grand » puis « un petit, un grand », ...).
- Les trichotomies / étiquetages détaillés : La trichotomie correspond au fait que le sujet utilise cette fois-ci trois termes pour décrire la sériation : « petit », « moyen », « grand ». L'étiquetage détaillé signifie que le sujet attribue à chaque élément composant la série un terme particulier : pour ce faire, il réalise une combinaison des termes déjà employés (par exemple : « moyen-petit ») ou il associe les termes classiques à d'autres tels que « presque », « plus », « aussi », « un petit peu » (par exemple : « un petit peu grand ») : les termes ainsi construits ont une valeur absolue et n'ont pas encore pour objectif d'établir des liens entre les éléments.
- Les descriptions comparatives dans un seul sens : Le sujet utilise des structures du type « le plus petit », « le plus grand », « encore plus grand ». Il est capable de décrire la série dans un sens mais pas dans l'autre. La réversibilité n'est pas encore acquise à ce moment-là, c'est pour cela que l'on parle de descriptions comparatives « à sens unique ».

- Les descriptions comparatives dans les deux sens : Le sujet est capable de décrire la série dans les deux sens : il lui est possible d'envisager la double relation qui unit deux objets (A et B) : A est plus grand que B et B est plus petit que A. La sériation est alors opératoire.

Sinclair (1973), citée par Martin-Lanza (2013), a mis en parallèle ces quatre types de descriptions verbales observées auprès d'enfants à qui l'expérimentateur a soumis l'épreuve de sériation de baguettes avec les quatre stades existant dans l'épreuve de sériation de baguettes. En effet, au stade 4 de Piaget (« sériation opératoire »), 80% des sujets produisent des descriptions comparatives dans les deux sens. Ainsi, stades et types de descriptions verbales semblent bien liés.

### *Les conduites langagières sur le versant réceptif*

Il convient également de vérifier le versant réceptif du langage afin de juger de l'opérativité de la sériation.

On observe ainsi la compréhension :

- Des relations de comparaison (« plus grand que » / « plus petit que ») à 5 ans.
- Des relations de transitivité (« plus grand que ... et plus grand que ... » / « plus petit que... et plus petit que ... ») à 5 ans et demi.
- Des relations de coordination (« plus grand que ... et plus petit que ... ») à 7 ans et demi.
- Des relations de négation (« ni plus grand que ... ni plus grand que ... » / « ni plus petit que ... ni plus petit que ... ») à 8 ans et demi.

### 3.3. Les correspondances sériales

Lorsque la sériation est acquise, le sujet peut acquérir les groupements multiplicatifs concernant la sériation, c'est-à-dire les correspondances sériales et les multiplications sériales. Piaget & Inhelder (1959) explique par ailleurs que « le groupement multiplicatif est atteint par double sériation de l'ensemble des éléments » (p.271). Nous décrivons ici le développement des correspondances sériales uniquement, puisque nous ne testons pas les multiplications sériales dans notre étude.

Piaget et Szeminska (1980) ont proposé une épreuve de correspondance sériale de longueurs à des enfants de 4 à 7 ans visant à explorer le développement des correspondances sériales.

Une série de bonshommes de tailles différentes et une série de canne de longueurs différentes sont données aux enfants.

Trois stades sont observés :

<p><b>De 4 à 5/6 ans :</b>  <b>« comparaison globale sans sériation et sans correspondance terme à terme »</b></p>	<p>Certains enfants réalisent une correspondance directe des deux séries (l'enfant ne réalise pas de sériation au préalable et entreprend directement une correspondance terme à terme).  D'autres réalisent des sériations simples qu'ils font correspondre.  Lorsqu'une des deux séries est perturbée, la correspondance entre les séries n'est pas conservée.</p>
<p><b>De 5/6 ans à 7 ans :</b>  <b>« correspondance progressive et intuitive »</b></p>	<p>Une correspondance terme à terme intuitive et perceptive est réalisée par l'enfant. Afin d'établir cette correspondance, l'enfant utilise la méthode de la double sériation : il réalise la sériation de chaque série et met les éléments en correspondance terme à terme.</p> <p>Lorsque l'ordre est dérangé, l'enfant compte ou tente une correspondance terme à terme pour retrouver les éléments correspondants. Des erreurs systématiques sont commises par l'enfant.</p>
<p><b>A partir de 7 ans :</b>  <b>« correspondance immédiate et opératoire »</b></p>	<p>La correspondance est réalisée correctement sans sériation des collections au préalable.</p> <p>Lorsque l'une des séries est dérangée, l'enfant coordonne la cardinalité et l'ordination des collections afin de rétablir les correspondances.</p> <p>Du fait de cette coordination du cardinal (quantité totale de n objets) et de l'ordinal (n ième objet) des collections, les auteurs parlent de « correspondance ordinale ». « Le terme n signifie dorénavant pour l'enfant à la fois le n ième rang et une somme cardinale de n » (Piaget et Szeminska, 1980).</p>

**Tableau 4 : Les stades de développement des correspondances sériales.**

Ainsi, si l'on suit les repères développementaux de Piaget, on peut inférer l'existence d'une sériation opératoire à l'âge adulte.

L'adulte ayant théoriquement atteint le stade de la pensée opératoire formelle selon Piaget, on peut extrapoler qu'il possède également des capacités d'anticipation, de décentration, de rétroaction et de réversibilité de pensée.

#### 3.4. Les repères de développement des sériations selon la batterie ERLA

La batterie ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé) est une batterie d'épreuves logiques et mathématiques élaborée par Legeay, Morel et Voye en 2009.

Cette batterie a pour but l'analyse qualitative des conduites du patient lors des épreuves. Des repères développementaux sont proposés afin d'effectuer une analyse quantitative des épreuves.

Comme l'indique le nom de la batterie, les conduites langagières du patient peuvent être confrontées aux analyses des épreuves afin de tirer des hypothèses concernant le fonctionnement de la pensée du sujet.

Nous nous intéresserons dans notre exposé aux épreuves de sériation de cette batterie.

Voye, Frey et Guérin (2013) rappellent que les épreuves de sériations de la batterie ERLA permettent d'analyser et d'observer le patient « sur le plan de ses actions, sur le plan logico-mathématique et sur le plan de son langage. » (p.166)

En effet, sur le plan de ses actions, l'orthophoniste observe comment le patient manipule les objets, comment il se les approprie. Sur le plan logico-mathématique, l'orthophoniste interroge « les préoccupations cognitives du patient : Est-il en recherche de "mêmes" ? Essaie-t-il de comparer les objets ? Ces comparaisons sont-elles source de déductions construites par le patient ? Fait-il des inférences, plus ou moins complexes ? » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.167).

Enfin, sur le plan du langage, l'orthophoniste observe les conduites langagières du patient et analyse si elles traduisent « la mise en relation, les coordinations ou les juxtapositions » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.167).

Voye, Frey et Guérin (2013, p.169) ont décrit les différents repères de développement des sériations utilisés par la batterie ERLA :

<b>Niveau 1A : aux alentours de 3-4 ans.</b>	« Le patient réalise des constructions, des arrangements spatiaux ».
<b>Niveau 1B : aux alentours de 4-5 ans.</b>	« Début de mise en place de la relation asymétrique ».
<b>Niveau 2A : aux alentours de 5-6 ans.</b>	« Le patient essaie d'organiser tous les éléments mais ne fixe pas une base. » On n'observe ni anticipation, ni rétroaction.
<b>Niveau 2B : aux alentours de 5-6 ans.</b>	« Rangement d'une partie des éléments en ordre croissant et de l'autre partie en ordre décroissant. » Le sujet ne prend en compte qu'un seul sens de la série. Il lui est impossible de coordonner « plus petit ET plus grand que ». Le sujet commence à appréhender les éléments dans leur relation asymétrique. Il commence à prendre en compte la compréhension de la série (ensemble des ressemblances et différences qui existent entre les éléments de la série) mais pas l'extension (la totalité des éléments auxquels s'appliquent les différences et les ressemblances) de la série.
<b>Niveau 2C : aux alentours de 6-7 ans.</b>	« Réussite de la sériation par tâtonnements.

	<p>Néanmoins, l'insertion de baguettes supplémentaires est impossible. »  Les coordinations ne sont toujours pas présentes mais les juxtapositions sont possibles.</p>
<b>Niveau 3A : aux alentours de 8-9 ans.</b>	<p>Le patient « effectue une sériation méthodique et peut insérer de nouvelles baguettes puisqu'il considère la sériation dans sa relation asymétrique. Il coordonne la compréhension et l'extension de la série. Il y a mise en place d'une transitivité de fait mais non opératoire car la sériation repose encore sur du perceptif ».</p> <p>Le sujet prend en compte les deux sens de la série (plus grand ET plus petit que) : c'est ce qui lui permet d'insérer de nouvelles baguettes.</p> <p>L'extension et la compréhension sont coordonnées.</p> <p>« Sa conduite tout comme son langage sont porteurs de mises en relations ».</p>
<b>Niveau 3B : aux alentours de 10-11 ans.</b>	<p>« La capacité à inférer sur du matériel visible est construite mais le patient n'infère pas dans des sollicitations en "peut-être" ; il ne peut envisager plusieurs possibles simultanément. »</p> <p>Le sujet n'est pas capable d'inférer sur du matériel caché ce qui signifie qu'il a encore besoin « d'indices perceptifs pour assurer ses hypothèses ».</p>
<b>Niveau 3C : à partir de 11 ans.</b>	<p>« La pensée a construit le "peut-être" et il peut être appliqué à différents contenus. Les classes et les sériations sont unifiées comme relation d'ordre. L'implication logique qui se décline en "si tous les A sont des B" est construite comme "quelques B sont des A". Ainsi, le patient considère que si toutes les baguettes qui passent dans D passent dans F alors seules quelques-unes de celles qui rentrent dans F rentrent dans D. »</p> <p>Le sujet est capable d'inférer des hypothèses le conduisant à des certitudes.</p> <p>Il n'y a plus d'appui nécessaire sur le perceptif.</p>

**Tableau 5 : Les repères de développement des sériations selon la batterie ERLA.**

Les repères du niveau 1A au niveau 2C ont été établis sur un matériel de sériation de baguettes. Cette épreuve consiste en la sériation de baguettes de différentes longueurs.

Les repères du niveau 3A ont été établis sur un matériel de sériation intercalaire. Cette épreuve consiste à intercaler des nouvelles baguettes « en anticipant leur place sur une plaque sur laquelle d'autres bâtonnets sériés sont collés » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.167). Voye, Frey et Guérin (2013) expliquent que « La sériation intercalaire conscientise la coordination de la relation mais n'interroge pas les sériations du point de vue des inférences. »

Les repères du niveau 3B au niveau 3C ont été établis sur un matériel de correspondances sériales. Cette épreuve se base sur une double sériation (fentes et baguettes). Le sujet devra « établir les relations asymétriques entre ces deux séries, puis faire le lien entre les aspects cardinal et ordinal du nombre et enfin inférer sur les relations de longueurs. » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.167). Les correspondances sériales sont particulièrement intéressantes pour l'observation de la production d'inférences « à partir de situations dans lesquelles on cache une partie du matériel » (Voye, Frey & Guérin, 2013, p.167).

## **II. Le lien entre les structures logiques et le langage**

### **1. Piaget et la relation entre langage et structures logiques**

#### 1.1. Définition du langage

Si l'on se réfère au dictionnaire d'orthophonie, le langage est « un système de signes propre à favoriser la communication entre les êtres ». Ces signes, éléments arbitraires employés par les hommes dans le but d'avoir une référence commune, représentent la faculté de l'espèce humaine à symboliser ; autrement dit, « la faculté de représenter le réel par un "signe" et de comprendre le "signe" comme un représentant du réel, donc d'établir un rapport de "signification" entre quelque chose et quelque chose d'autre » (Brin, 2004).

Ce concept de signe linguistique est mis en avant pour la première fois par Saussure (1967) qui le définit par l'association d'un « signifiant » et d'un « signifié ». Le signifiant représente la forme verbale du signe, une production orale ou écrite, là où le signifié représente le concept auquel le signifiant fait référence.

Prenons pour exemple le mot « chat ». /ʃa/ est le signifiant, l'élément que l'on produit afin de faire référence à l'animal, notre objectif étant que notre interlocuteur sache de quoi l'on parle. Le concept d'animal domestique à quatre pattes qui miaule, lui, représente le signifié de « chat ». Cette association entre signifiant et signifié ou plus simplement, entre mot et concept, est arbitraire : il s'agit d'une convention partagée par les locuteurs d'une même langue. De ce fait, un même concept s'illustre donc différemment en fonction des locuteurs : « chat » en français, « cat » en anglais, « gato » en espagnol, etc.

Cependant le langage ne repose pas seulement sur des signes linguistiques. Chomsky (1962), cité par Joseph (2004), met en avant la « créativité » qui se trouve à notre portée grâce au

système que représente le langage. En effet, à partir d'un nombre fini de phrases entendues tout au long de son développement, un être humain a la possibilité de produire un nombre infini de phrases pouvant être correctes dans un contexte donné.

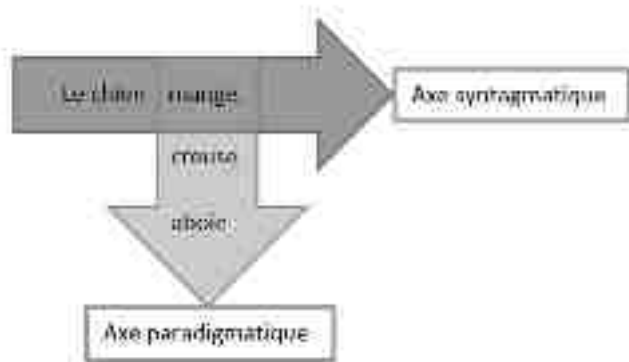
Ainsi, nous n'avons pas besoin d'avoir entendu une phrase au préalable pour la produire : nous nous basons sur le fonctionnement de la langue pour conclure que si les phrases « Le petit chat dort » et « Le grand chien mange » sont possibles, alors des phrases telles que « Le grand chat mange » ou « Le petit chien dort » sont également tout à fait correctes.

Dans son ouvrage en 2015, Blitman analyse la vision de Chomsky comme suit : « pour rendre compte de cette créativité, la grammaire doit être conçue non comme un inventaire d'éléments mais comme un système de règles. » Si le langage ne se faisait que sur l'imitation simple, il serait impossible pour un être humain de produire des phrases qu'il n'a jamais entendu : il n'aurait qu'un stock de phrases préconçues qui lui ont été transmises par ses aînés.

D'après Saussure, la création de nouvelles phrases est notamment possible grâce aux axes syntagmatique et paradigmatique qui régissent la linguistique structurale.

- L'axe syntagmatique, c'est-à-dire « le caractère linéaire de la langue, qui exclut la possibilité de prononcer deux éléments à la fois » (Saussure, 1967), représente l'enchaînement dans un ordre précis des éléments d'une phrase ainsi que les rapports qu'ils entretiennent entre eux. Ainsi, la phrase « Elle mange une pomme verte » est jugée correcte, contrairement à « Mange elle verte pomme ».
- L'axe paradigmatique repose lui sur le principe d'interchangeabilité des éléments de la phrase avec d'autres éléments d'un même « paradigme ». Dubois (1973), cité par Touratier (2002), définit un paradigme comme « l'ensemble des unités entretenant entre elles un rapport virtuel de substituabilité ». En reprenant le même exemple que précédemment, le mot « verte » peut de ce fait être remplacé par « jaune » puisque tous deux appartiennent au même paradigme, créant une nouvelle phrase : « Elle mange une pomme jaune. »

Touratier (2002) décrit l'axe syntagmatique comme « horizontal » – il représente la linéarité d'une phrase dont les mots se prononcent les uns à la suite des autres – et l'axe paradigmatique comme « vertical » – il symbolise les possibilités de substitutions des éléments de la phrase par des éléments similaires.



**Schéma 1 : Axes syntagmatique et paradigmatisque.**

### 1.2. Les hypothèses de Piaget sur le lien entre langage et structures logiques

En 1954, Piaget évoquait le lien indéfectible qui existe entre langage et pensée, les deux s'enrichissant mutuellement. En 1998, Piaget et Inhelder vont plus loin et insistent cette fois sur le lien entre langage et structures logiques, notamment par l'importance de la classification et de la sériation au sein du langage.

Pour eux, « tous les substantifs et les adjectifs consistent à découper le réel en classe » : on peut alors citer en exemple la classe des « chiens » pour les substantifs ou encore la classe des « jaunes » pour les adjectifs, qui vont regrouper tous les éléments du réels, aussi différents soient-ils, qui peuvent correspondre à ces classes. Bien que cela ne soit pas évoqué comme tel à l'époque par Piaget, on retrouve cependant dans cette vision le principe d'axe paradigmatisque de Saussure évoqué précédemment.

Piaget voit principalement la sériation apparaître dans le langage sous la forme de comparatifs ou de superlatifs. Des phrases comme « Tom est plus grand que Pierre » ou « Marie est la plus jeune de sa famille » impliquent en effet de sérier les personnes par taille ou par âge.

Il évoque également les cas plus rares des « séries à termes explicitement dénommés » : c'est le cas des mots « arrière-grand-père », « grand-père », « père », « fils », « petit-fils », etc. Ce type de sériation met en lumière un ordre d'âge, puisque le grand-père est nécessairement plus âgé que le père ou le fils, mais également un statut qui ne s'obtient que par comparaison à un ou plusieurs éléments de la série : un individu n'est « père » que parce qu'il a un fils, il n'est « grand-père » que parce que son fils est lui-même devenu père, et ainsi de suite.

Piaget (1954) s'interroge alors : « le langage est-il la seule source des classifications, sériation, etc. qui caractérisent la forme de pensée liée à ces opérations, ou bien au contraire, ces dernières sont-elles relativement indépendantes du langage ? » Pour tenter de définir la nature du lien entre langage et logique, il envisage alors deux hypothèses (Piaget et Inhelder, 1998) :



- la première était de considérer le langage comme l'origine des structures logiques. Les enfants acquerraient donc classification et sériation par imitation - même partielle - du langage des adultes autour d'eux.
- la seconde voyait plutôt le langage comme un « accélérateur » voire une nécessité à la formation de ces structures logiques. Cependant, le langage seul ne suffirait pas non plus à la mise en place de ces structures, laissant sous-entendre la présence d'autres mécanismes non langagiers jouant un rôle dans ce développement.

Pour vérifier ces hypothèses, il s'est tout d'abord appuyé sur les travaux de Oleron (1956), Vincent (1951) et Affolter (1972) concernant le développement intellectuel des enfants sourds-muets. Les deux résultats principaux de ces travaux sont les suivants :

- ils ne notent aucune différence majeure dans le développement de la sériation entre les enfants sourds-muets et les enfants entendants ;
- la classification est globalement aussi bien réussie chez les sourds-muets que chez les entendants, sauf pour les classifications plus complexes où les sourds-muets sont moins performants que les enfants entendants.

Ces travaux semblent donc montrer que l'absence de langage oral chez les enfants sourds-muets n'empêche pas l'apparition de ces structures logiques. Cependant, elles paraissent moins abouties chez les sourds-muets, renforçant alors la théorie selon laquelle le langage, sans être indispensable, permettrait de stimuler le développement des structures logiques.

Par ailleurs, Piaget détermine dans *La formation du symbole chez l'enfant* (1978) que si l'acquisition du langage accélère la formation des classes, cette dernière n'est pas instantanée. Un enfant peut utiliser le mot « chat » pour désigner un chat sans comprendre pleinement la classe des chats de façon générale, et sans comprendre comment elle s'intègre selon une structure logique d'inclusion : cette classe est comprise dans celles des animaux, elle-même se trouvant dans la classe des êtres vivants.

Sa compréhension des classes est encore incomplète, « à mi-chemin entre l'individuel et le générique » (Piaget et Inhelder, 1998), même si son utilisation du langage est correcte par imitation du langage de l'adulte. Le langage apparaît ici aussi comme un « accélérateur » puisque le langage des adultes que l'enfant entend et réutilise lui impose des ébauches de classes. Cependant, leur pleine intégration ne peut se faire par le langage seul : pour Piaget, « les opérations ont leur origine dans le fonctionnement des schèmes sensori-moteurs » (Veneziano, 2001).

D'après ces éléments, Piaget conclut donc à l'indépendance des structures logiques vis-à-vis du langage, affirmation que Veneziano (2001) clarifie ainsi : « Quand Piaget dit que le langage n'est pas nécessaire pour pouvoir accéder aux opérations logiques, il pense surtout au fait que celles-ci ont leur source dans les schèmes d'action et dans leur organisation progressive, activité qui est déjà bien présente avant les débuts du langage et qui peut avoir lieu par la suite indépendamment de toute verbalisation. »

Veneziano précise toutefois que le langage n'a pas un rôle « négligeable », puisqu'il permet entre autres de développer les représentations mentales qui permettent de se détacher des perceptions. Il n'est « pas suffisant » comme l'affirme Piaget, puisque la simple imitation du langage de l'adulte ne permet pas sa compréhension.

Le langage est alors considéré par Piaget comme « nécessaire » voire « décisif » au développement des structures logiques car plus celles-ci se complexifient, plus l'appui du langage est nécessaire à leur mise en place.

## **2. Le lien entre la structure logique de sériation et le langage**

### **2.1. Dans la vie quotidienne**

Comme nous l'évoquions précédemment, les structures logiques et le langage sont étroitement liés. La sériation n'y fait pas exception, celle-ci est même présente dans bien des activités de notre quotidien.

On l'utilise lorsqu'il s'agit de ranger : en triant des dossiers par année ; en empilant des casseroles de la plus large à la moins large pour prendre moins de place dans les placards ; en disposant des livres par couleur pour la décoration, par ordre de publication au sein d'une même série ou par ordre alphabétique dans une bibliothèque. L'alphabet est en outre une forme de sériation que l'on peut utiliser pour rechercher un mot dans le dictionnaire ou pour trier des éléments comme des prénoms ou des noms.

La sériation est également nécessaire dans la comparaison des prix, des quantités, des tailles, etc. Elle nous permet de faire des constatations via des comparatifs tels que « plus cher que... », « moins lourd que... » ou des superlatifs comme « le plus haut », « le moins gras », etc.

D'autre part, une bonne compréhension de la sériation est indispensable à la planification d'actions qui nécessitent de respecter un certain ordre. On peut citer le calcul, avec par exemple la soustraction où l'on considère d'abord la valeur initiale et seulement ensuite la quantité que l'on souhaite retrancher, mais aussi de façon plus large la résolution de problème où l'on doit suivre les bonnes étapes pour naviguer correctement entre la situation de départ et la situation finale, ou encore la réalisation d'une recette de cuisine où le respect de l'ordre de chaque étape est essentiel.

### **2.2. La linguistique**

Parmi les aspects les plus visibles de la présence de la sériation au sein du langage, on peut évoquer les connecteurs logiques. Ils structurent le langage en mettant en relation les propositions ou les phrases. Ces relations sont variées : addition (« et », « de plus », « puis »), cause (« car », « parce que », « puisque »), conséquence (« donc », « alors », « ainsi »),

opposition (« mais », « cependant », « malgré »), hypothèse (« si », « alors »), temps (« d'abord », « ensuite », « depuis »), pour n'en citer que quelques-unes.

Les axes paradigmatique et syntagmatique de Saussure (1967) évoqués précédemment sont également sous-tendus par des structures logiques :

- L'axe paradigmatique renvoie à la classification puisque les paradigmes sont en réalité des regroupements d'éléments du langage pouvant se substituer entre eux : dans l'exemple précédemment utilisé « Le chien mange », le mot « mange » peut être remplacé par des mots d'une même classe, ici les verbes.
- L'axe syntagmatique repose lui sur la sériation : il représente l'ordre des mots dans la phrase et la relation qu'entretiennent les mots entre eux pour donner du sens à cette phrase. Sans le respect de cet ordre, la phrase n'est plus correcte. De plus, les éléments de cette phrase peuvent perdre leur sens propre si l'ordre des mots n'est plus respecté. Par exemple, un mot comme « le » peut être un déterminant ou un pronom : sans le respect des positions de chaque élément de la phrase, il serait impossible de connaître la nature de « le ». La sériation est donc nécessaire à la production de phrases correctes mais aussi à leur compréhension.

Par ailleurs, la syntaxe repose sur une sériation plus subtile qui amène des notions d'ordre spatial ou temporel, mais aussi la successivité. D'après Jaulin-Mannoni (1993), « les successions ou les chevauchements entre deux événements peuvent être considérés comme des relations. » La syntaxe présente de nombreuses relations de ce type comme le souligne Jaulin-Mannoni dans ces exemples :

- « Paul eu mangé. Jean vint. » : cet exemple illustre les successions puisque les deux événements s'enchaînent sans interagir l'un avec l'autre si ce n'est par une relation d'antériorité d'une phrase par rapport à l'autre.
- « Paul chantait. Jean cria. » : cet autre exemple repose lui sur les chevauchements, avec une opposition entre long (l'imparfait) et court (le passé simple), l'action représentée par le passé simple ne prenant pleinement son sens de « soudaineté » que par la présence d'une action s'étalant sur la durée représentée par l'imparfait.

Les voies passive et active peuvent également être comprises grâce à la sériation puisqu'elles dépendent d'une relation entre les éléments de la phrase. Jaulin-Mannoni l'illustre à travers la phrase « le chat mange la souris » où le chat et la souris sont liés par une relation de « mangeur » et « mangé » qui n'existe que par la présence de l'un par rapport à l'autre : le chat ne peut être « mangeur » que s'il a quelque chose à manger et la souris ne peut être « mangée » que si un prédateur la chasse.

Pour finir, la conjugaison est elle aussi empreinte de sériation, notamment au travers des modes conditionnel et subjonctif. Là où l'indicatif évoque plus volontiers des événements dont le déroulement (passé, présent ou futur) est certain, le conditionnel et le subjonctif installent

davantage l'éventualité, l'hypothèse, la volonté ou même le doute, au travers d'actions n'ayant pas encore eu lieu.

Selon Sadek (1997) cité par Eskenazi (2012), le conditionnel se construit par « deux proposition qui peuvent être énoncées dans l'ordre chronologique ou non : la condition dans la subordonnée qu'on appelait en grammaire ancienne la protase et la conséquence dans la principale qu'on appelait l'apodose. Il s'agit, et ces termes venus du grec le disent, d'une chronologie de raison, c'est-à-dire représentée. »

Ainsi l'emploi du conditionnel est fortement lié à la sériation puisqu'il implique une successivité : une action antérieure énonce les conditions nécessaires à la seconde action évoquée, qui ne peut exister sans la première.

Toujours selon Sadek, l'emploi du subjonctif « dépend de l'idée regardante ou idée critique portée par la proposition principale qui le précède. Ainsi est déterminée la réalité ou la virtualité de ce qui est exprimé dans la subordonnée, idée regardée. »

Le subjonctif s'appuie donc lui aussi sur la sériation puisqu'il n'existe que par la relation entre proposition principale et subordonnée, jouant sur les nuances de possibilité/impossibilité d'une action ou d'un événement.

### 2.3. Les récits

Les récits, notamment à travers les albums pour les plus jeunes ou encore les romans pour les plus grands, sont de grands vecteurs de structures logiques. Pour ne s'arrêter que sur la sériation puisqu'il s'agit de notre objet d'étude, celle-ci prend une place importante dans la structure de la narration, que Fayol (2019) définit par l'action conjointe de la cohérence et de la cohésion discursive.

La cohérence correspond à la structure du récit, généralement construite selon des étapes que l'on retrouve dans la majorité des histoires : situation initiale, élément déclencheur, péripéties, dénouement, situation finale.

La cohésion discursive désigne tous les marqueurs linguistiques qui permettent de distinguer :

- les informations nouvelles des anciennes : « un homme » (article indéfini) devenant « l'homme » (article défini) puis « il » (pronom) tandis que l'information nouvelle se transforme au fur et à mesure du récit en une information connue qu'il n'est plus nécessaire de présenter ;
- les différents plans du discours, à travers le temps des verbes et les connecteurs logiques précédemment évoqués.

Grâce à leur richesse sur le plan de la sériation, les histoires peuvent aider les enfants à construire cette structure logique comme le montre le mémoire de Guigues (2021) sur l'utilisation des albums jeunesse dans la rééducation de la sériation : à propos des patients ayant suivi ce protocole, elle constate que « leur raisonnement aux épreuves finales de sériation a progressé, et parallèlement, leurs récits d'invention de fins d'histoires comportent moins de juxtapositions et plus de liens de causalité. »

#### 2.4. La pragmatique

Le langage, au-delà d'un simple assemblage d'éléments du lexique organisés dans des phrases régies par des règles syntaxiques ou encore grammaticales, est avant tout un vecteur de communication. La pragmatique, qui étudie « ce qui se passe lorsqu'on emploie le langage pour communiquer » (Brin-Henry, 2011), repose en effet sur les interactions entre un locuteur et un interlocuteur se trouvant dans un contexte donné. Cet échange entre individus implique à la fois organisation, analyse, réflexion et mise en relation d'éléments langagiers, qu'ils soient verbaux ou non, le tout permettant la transmission et la compréhension d'un message.

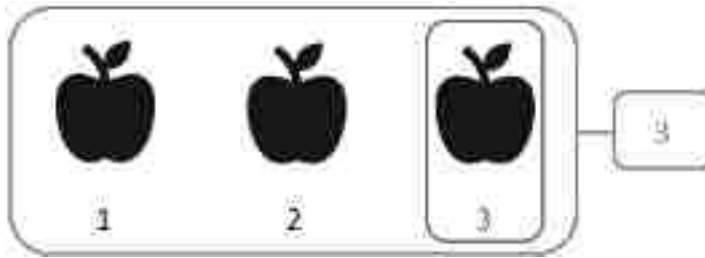
La sériation, comme nous l'avons démontré dans les points précédents, est présente dans de nombreux éléments sous-tendant le langage - et donc la pragmatique par extension. Dans son mémoire en 2016, Altenburger souligne l'importance de la rééducation de ces structures logiques dans la prise en charge des patients cérébrolésés : ces structures permettent de faire des inférences, de résoudre des problèmes, de comprendre des énoncés aussi bien explicites qu'implicites mais aussi d'interpréter les aspects verbaux et extra-verbaux, le contexte et l'intention communicative des interlocuteurs. Elle propose donc de rééduquer simultanément la pragmatique et les compétences logico-mathématiques ; à l'issue de son expérimentation, les patients ayant bénéficiés de cette double prise en charge amélioreraient nettement leurs habiletés pragmatiques par rapport aux patients ayant seulement été pris en charge sur l'aspect pragmatique.

#### 2.5. La construction du nombre

D'après Meljac (1979), le nombre peut se construire sous son aspect cardinal grâce à la classification et sous son aspect ordinal grâce à la sériation.

L'aspect cardinal est une propriété du nombre permettant de désigner une quantité. Par exemple lorsque l'on parle de « trois pommes », le nombre « trois » désigne en réalité le calcul  $1+1+1$  où chaque unité distincte représente une pomme. Mises ensemble, ces unités forment une quantité : trois, le cardinal (en rouge sur le schéma 2).

L'aspect ordinal est la propriété du nombre qui indique à quel rang un élément se situe au sein d'une série ordonnée. Pour reprendre l'exemple précédent, si l'on devait compter ces pommes, nous attribuerions un chiffre à chaque pomme : la dernière pomme se verrait attribuer le chiffre trois. Dans ce cas, « trois » ne symbolise pas la quantité puisqu'il ne s'agit que d'une seule unité ; « trois » indique plutôt qu'elle est la troisième pomme à être comptée (en bleu sur le schéma 2).



**Schéma 2 : Aspect cardinal (rouge) et ordinal (bleu) du nombre.**

L'aspect ordinal est donc en effet sous-tendu par la sériation puisqu'elle permet la mise en place de la chaîne numérique, ou comptine numérique, que les enfants apprennent dès leur plus jeune âge. L'aspect ordinal implique également que s'il existe un premier, celui-ci est forcément suivi d'un deuxième, lui-même suivi d'un troisième et ainsi de suite.

Si l'aspect cardinal du nombre est sous-tendu par la classification, on peut néanmoins noter l'intérêt de la sériation vis-à-vis de l'itération : si le nombre deux représente « un et un », passer de deux à trois peut se représenter par « deux et un », passer de trois à quatre par « trois et un », etc. Passer d'un nombre à un autre se fait par une itération de un à chaque fois, créant une série où chaque élément est plus grand que le précédent par ajout d'une unité, et plus petit que le précédent par retrait d'une unité.

### **III. Structures logiques et lésions cérébrales acquises**

#### **1. Substrats anatomiques des structures logiques et lien avec les fonctions exécutives**

##### 1.1 Les substrats anatomiques des structures logiques

Dehaene (2010) décrit l'activation de plusieurs zones cérébrales dans les tâches de calcul.

Parmi ces localisations cérébrales, on distingue :

- Le cortex préfrontal dorso-latéral et le cortex cingulaire antérieur pour les stratégies et la planification. Ces deux cortex supervisent les compétences non automatiques dont les conduites logiques ;
- La région périsylvienne gauche pour le traitement du langage, le comptage, le traitement des numéraux verbaux, les faits arithmétiques (addition et multiplication) ;
- Les noyaux gris centraux et le thalamus pour la mémoire arithmétique ;
- Le cortex pariétal inférieur et le gyrus angulaire pour la représentation des quantités ;
- Les aires pariétales inférieures gauches et droites pour le traitement des numérosités, la comparaison numérique et le calcul approximatif ;
- Le cortex occipito-temporal ventral pour l'identification visuelle des mots et des chiffres ;
- Les aires occipito-temporales gauches et droites pour le traitement des numéraux arabes, le jugement de parité et le calcul mental complexe.

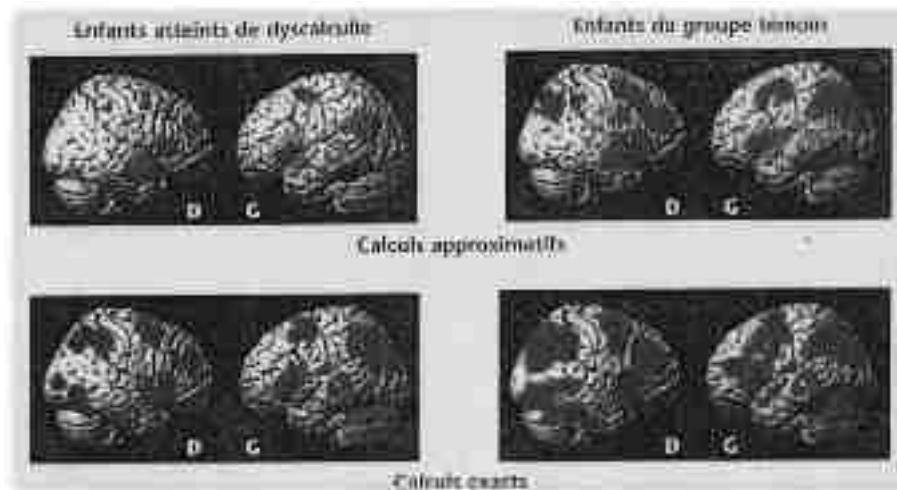
Les zones préfrontales (constituant la partie antérieure du cortex frontal) jouent un rôle dans la résolution de problèmes et dans le calcul.

Elles permettent un maintien en mémoire des résultats (rôle joué particulièrement par les zones préfrontales dorso-latérales) et « la planification, la mise en ordre, la prise de décision et la correction des erreurs » (Dehaene, 2010).

Enfin, les sillons intra-pariétaux et les régions temporales sont impliquées dans les tâches de comparaison de nombres et de jugement de grandeur.

L'étude de Kucian et al. (2006) a démontré l'activation de certaines de ces localisations lors de tâches de calculs approximatifs ou exacts à l'aide de l'imagerie à résonance magnétique.

Pour ce faire, ils ont proposé à des enfants présentant une dyscalculie développementale (DD) ainsi qu'à des enfants témoins (sans troubles) des épreuves de calcul alors que ces derniers étaient placés dans une machine d'imagerie à résonance magnétique.



**Schéma 3 : Résultats comparatifs des épreuves de calculs approximatifs et exacts chez des enfants atteints de DD et chez des sujets sains.**

L'imagerie a permis d'objectiver l'activation du sillon intra-pariétal gauche, les gyrus frontaux moyen et inférieur des deux hémisphères (notamment le gyrus frontal inférieur gauche et le gyrus frontal moyen droit qui semblent jouer un rôle dans les tâches de calcul approximatif), le gyrus frontal supérieur gauche, l'activation bilatérale du lobe pariétal supérieur.

Les aires visuelles primaires et secondaires étaient également visiblement activées.

Les localisations cérébrales précises des structures logiques elles-mêmes ne sont à ce jour pas connues. Toutefois, Gelman et Gallistel (1978) ont mis en lien les tâches de calcul et les structures logiques en décrivant que ces tâches étaient soumises au développement et à l'acquisition des structures logiques.

Ainsi, il est possible de postuler que les zones cérébrales activées et impliquées dans les tâches de calcul sont également en lien avec les structures logiques.

## 1.2 Les fonctions exécutives : définitions et influences du vieillissement et du bilinguisme

### 1.2.1 Définitions

Il est intéressant de remarquer qu'un certain nombre de zones cérébrales postulées comme impliquées dans les structures logiques sont également en lien avec les fonctions exécutives.

En effet, Luna et al. (2015) parlent d'un réseau exécutif commun aux différentes fonctions exécutives réunissant des activations au niveau du cortex frontal dorso- latéral, du cortex cingulaire antérieur, du cortex pariétal inférieur et supérieur, du précuneus et du cortex préfrontal. Ces localisations cérébrales correspondent en partie aux potentiels substrats anatomiques des structures logiques.

Houdé (2000) décrit par ailleurs le fait que les penseurs « néo-piagétiens » ont joint à la théorie piagétienne une idée modulaire du développement cognitif dans laquelle les fonctions exécutives occupent un rôle important.

De même, Russell (2000) explique que les habiletés logiques demandent l'activation de différentes fonctions exécutives, par exemple de l'inhibition (afin d'inhiber la réponse automatique, intuitive) ou encore de la mémoire de travail (pour maintenir en mémoire et manipuler une information).

Les fonctions exécutives réfèrent à un ensemble de processus cognitifs de haut niveau utilisés par un individu lors de la réalisation d'actions orientées vers un but.

Les fonctions exécutives contrôlent certaines habiletés cognitives comme la mémoire ou l'attention et permettent aux individus de réarranger les patterns comportementaux appris lorsqu'ils ne sont plus adaptés au contexte (Van Linden et al., 2000 cité par Cristofori et al., 2019).

Elles permettent ainsi l'adaptation d'un individu face aux situations nouvelles et complexes de la vie quotidienne (Collette et al., 2006 cité par Cristofori et al., 2019).

Les habiletés cognitives composant les fonctions exécutives incluent la mémoire de travail, l'inhibition, la flexibilité mentale, la planification et la résolution de problème (Cicerone et al., 2000 ; Kennedy et al., 2008 cités par Cristofori et al., 2019).

Miyake et al. (2000) cherchent à théoriser l'organisation des fonctions exécutives et leur rôle dans ce qu'ils appellent la « cognition complexe » (Miyake et al., 2000, p.50) lors d'une étude menée sur 137 étudiants.

Les chercheurs proposent dans cette étude de ne s'intéresser qu'à trois fonctions exécutives : la mise à jour en mémoire de travail, la flexibilité mentale et l'inhibition.

Bien qu'ils ne réfutent pas l'existence d'autres fonctions exécutives, leur choix se porte sur les trois fonctions citées précédemment puisqu'elles font intervenir moins de mécanismes non exécutifs que les autres et sont de ce fait plus facilement objectivables.

Ces trois fonctions exécutives se définissent de la manière suivante :



<p><b>La flexibilité mentale</b></p>	<p>La flexibilité mentale ou Shifting (Miyake et al., 2000) est définie par Miyake et al. (2000) comme la capacité à désengager son attention d'une tâche, d'une procédure ou d'un état mental pour l'orienter volontairement vers un autre.</p> <p>La flexibilité mentale correspond ainsi à la capacité d'un individu à opérer des changements de stratégie cognitive au cours d'une tâche lorsque la stratégie premièrement utilisée au cours de la tâche se révèle inefficace.</p> <p>La flexibilité mentale intervient donc dans l'adaptation du sujet et sa capacité de résolution de problèmes nouveaux.</p>
<p><b>La mémoire de travail</b></p>	<p>La mémoire de travail est un système permettant le maintien et le traitement temporaires de l'information.</p> <p>Elle a pour fonction de maintenir temporairement une petite quantité d'informations pendant la réalisation d'opérations cognitives plus ou moins complexes.</p> <p>Le modèle de Baddeley et Hitch (2002) met à jour quatre composantes de la mémoire de travail : l'administrateur central, la boucle phonologique, la mémoire tampon épisodique et le calepin visuo-spatial.</p> <p>Elle joue un rôle clé dans différentes activités de la vie quotidienne comme le raisonnement, la compréhension du langage oral ou écrit et la lecture.</p>
<p><b>L'inhibition</b></p>	<p>Selon Houdé (2018), l'inhibition est un processus impliqué dans la résistance de notre cerveau face aux interférences et aux distracteurs intérieurs ou extérieurs non pertinents pour le but poursuivi.</p>

**Tableau 6 : Les trois fonctions exécutives de Miyake et al. (2000).**

Différentes variables peuvent influencer les fonctions exécutives tout au long de la vie de l'individu.

### 1.2.2 L'influence du vieillissement sur les fonctions exécutives

L'altération des fonctions exécutives est considérée comme une caractéristique du vieillissement cognitif normal (Van der Linden et al., 2000 ; Bryan et al., 2000 ; Philips et al., 2003 cités par Etienne et al., 2008).

Selon de nombreuses études, les trois fonctions exécutives de Miyake et al. (2000) subiraient une dégradation au cours du vieillissement cognitif (Collette et al., 2014).

Etienne et al. (2008) précisent que ces trois processus exécutifs ne sont pas dégradés de manière identique et homogène sous l'effet du vieillissement. En effet les sujets âgés présentent des performances significativement dégradées pour les composantes d'inhibition et de mise à jour en mémoire de travail par rapport aux sujets jeunes.

Les études de McDowd et al. (1995) citées par Lauverjat et al. (2005) déterminent par ailleurs que les sujets âgés éprouvent plus de difficultés que les sujets jeunes à « inhiber l'accès en mémoire de travail d'informations non pertinentes » (Lauverjat et al., 2005, p.227).

Aussi, l'étude de Leonards et al. (2002) citée par Collette et al. (2014) précise que les performances de mise à jour en mémoire de travail des sujets âgés diminuent quand la charge mnésique augmente.

Collette et al. (2014) rapporte qu'une baisse des performances en flexibilité est également objectivée chez les sujets âgés et que cette baisse varie « selon qu'elle porte sur des coûts de flexibilité globaux (reflétant le coût lié au maintien et à la sélection en mémoire de travail des deux plans mentaux) ou sur des coûts de flexibilité spécifique (reflétant le coût lié à l'opération d'alternance entre ces deux plans mentaux) » (Collette et al., 2014, p.44).

Les participants de notre étude sont des adultes sains âgés de 40 à 85 ans. A l'instar du protocole mis en place par Vincens et Casanovas (2020), nous avons choisi de répartir nos sujets en trois groupes d'âges en formulant l'hypothèse que les sujets jeunes auront de meilleurs résultats que les sujets âgés aux épreuves de sériation.

### 1.2.3 L'influence du bilinguisme sur les fonctions exécutives

Selon les orientations théoriques, il existe différentes définitions du bilinguisme.

Certaines définitions comme celle de Macnamara (1967) cité par Hamers et al. (2000) considèrent que pour parler de bilinguisme il suffit que l'individu possède un minimum de compétences dans un des aspects suivants : compréhension à l'oral, écriture, lecture, langage oral dans une autre langue que sa langue maternelle.

D'autres définitions, plus classiques, considèrent un individu comme bilingue quand il utilise deux langues (surtout à l'oral) de manière native avec la même fluence verbale, le même contrôle linguistique et de manière constante et habituelle dans sa vie quotidienne (Bloomfield, 1935) cité par Hamers et al. (2000).

Selon l'âge d'acquisition, on parlera de bilinguisme précoce simultané ou consécutif (on distingue un apprentissage des deux langues dès la naissance pour le sujet bilingue précoce simultané et un apprentissage de la deuxième langue lors des premiers échanges en dehors du système familial pour le sujet bilingue précoce consécutif) ; ou de bilinguisme tardif lorsque la deuxième langue sera apprise plus tardivement dans la vie de l'individu (c'est par exemple le cas de l'apprentissage d'une langue seconde au collège).

L'étude de Garbin et al. (2010) objective une influence du bilinguisme notamment sur les fonctions exécutives.

L'étude de Colzato et al. (2008), citée par Dana-Gordon (2013) explique que chez des sujets bilingues adultes, une implication plus importante des fonctions exécutives et de meilleures performances exécutives générales lors de tâches non-verbales.

Mazaux et al. (2008) rapportent que le fait d'apprendre une seconde langue est « un processus cognitif hautement complexe qui s'appuie de manière conséquente sur quasiment toutes les fonctions cognitives, particulièrement les habiletés linguistiques et les fonctions exécutives ». En effet, dès le plus jeune âge, les sujets bilingues mettent en place un « switching », défini par Meisel (1994) comme la capacité de passer d'une langue à l'autre rapidement lors d'un changement d'interlocuteur.

Ce switching sollicite fortement les fonctions exécutives du sujet et particulièrement les trois composantes de Miyake et al. (2000) à savoir la flexibilité, la mise à jour en mémoire de travail et l'inhibition.

Pour de nombreux auteurs (Biyalystok, 2001 ; De Diego et al., 2006 cités par Dana- Gordon, 2013) le switching renforcerait particulièrement la capacité d'inhibition.

Ainsi, plus le sujet présente un bilinguisme précoce et notamment simultané, plus il entraîne ces composantes exécutives puisque le bilinguisme précoce et simultané demande une adaptation et un switching constant entre les deux langues.

En raison d'une population d'étude constituée pour la moitié de sujets bilingues, nous avons choisi de répartir nos sujets en deux groupes, en fonction de la présence ou de l'absence d'un bilinguisme, avec pour hypothèse que les sujets bilingues auront de meilleures performances aux épreuves de sériation que les non-bilingues.

### 1.3 Le rôle de l'inhibition dans le développement cognitif : un lien entre les fonctions exécutives et les structures logiques de Piaget

En 2007, Olivier Houdé remet déjà en question le modèle piagétien du développement cognitif et le module en y introduisant le rôle des fonctions exécutives et particulièrement de l'inhibition.

Pour ce faire, Houdé prend l'exemple du concept du nombre. Selon Piaget, l'enfant ne peut pas accéder à ce concept avant l'âge de 7 ans environ. Pour le prouver, il utilise l'épreuve des jetons qui consiste à présenter à l'enfant deux rangées de jetons possédant chacune le même nombre de jetons. Les jetons sont cependant plus ou moins écartés selon la rangée.

Jusqu'à 6/ 7 ans, l'enfant considère qu'il y a plus de jetons dans la rangée où les jetons sont plus écartés les uns des autres.

Selon Piaget, cette mauvaise réponse révèle que l'enfant n'a pas encore acquis le concept de nombre.

Toutefois, Houdé explique que cette réponse est plutôt liée à un défaut d'inhibition de la réponse intuitive et perceptive inadéquate.

En effet, dès 4 ou 5 mois, les bébés sont capables de conserver un nombre exact d'objets (Wynn, 1992).

A contrario, la maturation du contrôle inhibiteur intervient tardivement dans le développement.

L'imagerie cérébrale observe que les mécanismes de maturation cérébrale ne se font pas de manière uniforme mais par vagues successives dans les différentes régions cérébrales et ce jusqu'à la fin de l'adolescence. Les régions associées aux fonctions exécutives et au contrôle inhibiteur en particulier sont parmi les dernières à maturer.

Ainsi, l'erreur de l'enfant à l'épreuve piagétienne des jetons ne relèverait pas d'une incapacité à conserver le nombre (puisque'elle est présente assez tôt chez le bébé) mais plutôt d'une incapacité à inhiber le biais perceptif inadéquat « longueur = nombre » (Houdé, 2007).

Selon Houdé (2007), ce biais constitue une stratégie fonctionnant bien la plupart du temps et que même les adultes utilisent.

La théorie piagétienne affirme qu'au stade des opérations formelles (soit à la fin de l'adolescence vers 16 ans), l'individu n'opère plus ce genre d'erreurs perceptives et de logique. Cependant, Houdé (2007) rapporte que les adultes font encore spontanément des erreurs perceptives systématiques au cours de tâches de logique.

Russell (2000), explique que l'échec des adultes dans des tâches piagésiennes d'opérations formelles est en partie lié à un arrêt trop précoce de la réflexion : en effet, l'individu se contente de sa première idée sans imaginer d'autres possibilités. Ce constat est le même que celui établi lors de l'expérience de sélection des cartes Wason (1960). Durant cette expérience, des étudiants doivent tester la règle « s'il y a une voyelle d'un côté de la carte, alors il y a un nombre pair de l'autre côté » en retournant le moins de cartes possible. Les sujets ont alors tendance à retourner les cartes sur lesquelles on peut lire un chiffre pair, en ignorant les cartes à chiffres impairs. Evans (1989, cité par Russell, 2000, p.173) explique que les personnes échouant à la tâche « laissent le contenu de la question déterminer le choix de la carte testant l'hypothèse ». Le traitement de l'information n'est alors que superficiel. Russell (2000) et Houdé (2007) considèrent que les adultes ayant échoué retiennent leur première idée, leur première hypothèse « celle déterminée par l'information prévalante » (Russell, 2000, p.173) car ils n'ont « pas les capacités exécutives de considérer les différentes variables » (Russell, 2000, p.173). Houdé (2007) parle en particulier de capacités inhibitrices déficitaires et Russell (2000) évoque une incapacité de maintien en mémoire de travail de plusieurs variables.

Au vu des éléments avancés dans la théorie de Houdé, nous avons choisi de proposer aux participants de notre étude une épreuve testant l'inhibition avec pour hypothèse que les sujets ayant de meilleurs résultats au test d'inhibition auront de meilleurs résultats aux épreuves de sériation.

## **2. Le patient cérébrolésé**

### 2.1 Définition et étiologies

Le terme de « lésion cérébrale acquise » (LCA) fait référence à tout type de lésion cérébrale apparaissant après la naissance d'un individu et ne résultant pas d'un trouble congénital, d'une

pathologie dégénérative ou d'un traumatisme crânio-cérébral à la naissance (Goldman et al. 2022).

La lésion cérébrale acquise constitue un terme parapluie qui renferme deux catégories principales : la lésion cérébrale acquise traumatique et la lésion cérébrale acquise non traumatique (Goldman et al. 2022).

Les principales causes de LCA traumatiques incluent les accidents de la voie publique, les chutes, les accidents traumatiques liés au sport et les violences physiques alors que les LCA non traumatiques résultent de processus pathologiques internes tels que les accidents vasculaires cérébraux (AVC), les infections, les néoplasmes ou l'anoxie cérébrale (Goldman et al. 2022).

Le patient cérébrolésé désigne ainsi toute personne victime d'une lésion cérébrale.

Nous nous intéresserons dans notre propos aux patients cérébrolésés adultes, victimes d'une lésion cérébrale acquise.

Les lésions cérébrales acquises peuvent entraîner différentes conséquences fonctionnelles chez l'individu qui en est victime.

## 2.2 Les conséquences de la lésion cérébrale acquise

Selon sa localisation, son étendue et son étiologie, la lésion cérébrale acquise est susceptible d'impacter différentes fonctions de la personne qui en est victime.

Quatre principaux types de déficits peuvent être observés chez les victimes de lésions cérébrales acquises :

<b>Déficits moteurs</b>	La motricité d'un ou de plusieurs membres peut être atteinte, de façon totale ou partielle. Selon Marshall et al. (2007), la spasticité est la principale cause de déficit moteur chez le patient victime de LCA.
<b>Déficits sensoriels</b>	Ils peuvent survenir à la suite d'une lésion acquise des nerfs crâniens sont également une conséquence fréquente des LCA. La vision, l'olfaction ou encore l'audition peuvent être impactés. Parmi les déficits du champ visuel, l'hémianopsie latérale homonyme est la déficience la plus fréquemment observée (Zhang et al., 2006).

<p><b>Déficits cognitifs</b></p>	<p>Ils correspondent à des troubles touchant le langage, la communication, la vitesse de traitement de l'information, le fonctionnement exécutif, la mémoire ou encore l'attention (Jacquin-Courtois, 2022).</p> <p>Les réseaux fronto-sous-corticaux incluant le gyrus cingulaire, le thalamus, le lobe frontal, les noyaux gris de la base et leurs connexions avec les circuits limbiques, paralimbiques et les aires associatives peuvent être touchés lors d'une LCA et plus encore lors d'une LCA non-traumatique de type vasculaire (Carota et al. 2005).</p> <p>Les fonctions exécutives sont sous-tendues par ces réseaux.</p> <p>Lorsque les réseaux fronto-sous-cortico sont atteints, un syndrome dysexécutif peut être observé. Le syndrome dysexécutif peut être qualifié de comportemental ou de cognitif (Jacquin- Courtois, 2022).</p> <p>Les troubles phasiques sont quant à eux fréquents chez les patients victimes de LCA non-traumatiques de type vasculaire et relativement rares chez les patients victimes de LCA traumatiques (Cohadon et al., 2008 cité par Carlsberg, 2019).</p> <p>Ces troubles phasiques entravent la communication des patients victimes de LCA.</p>
<p><b>Déficits comportementaux</b></p>	<p>Les troubles du comportement observés chez les patients victimes d'une LCA sont souvent mis en lien avec un syndrome dysexécutif comportemental.</p> <p>Parmi les troubles comportementaux décrits, sont rapportés une hypo- ou hyperactivité globale, des persévérations, des stéréotypies, une anosognosie, des troubles émotionnels ou du comportement social (Jacquin- Court, 2022).</p>

**Tableau 7 : Les quatre types de déficits observés dans les lésions cérébrales acquises.**

Toutes ces atteintes concourent à la dépendance des patients cérébrolésés et font des LCA un enjeu majeur de santé publique.

### 2.3 Les troubles logiques observés chez le patient cérébrolésé

Les troubles phasiques et comportementaux découlant de LCA sont largement décrits dans la littérature scientifique.

Le domaine des compétences logiques n'est toutefois que peu abordé dans les études, bien que certains travaux aient mis en évidence des altérations de ces compétences chez les patients cérébrolésés (Cavé, 2014 ; Boiteux, 2015 ; Altenburger, 2016).

Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) ont également rapportés des troubles logiques observés chez des patients cérébrolésés lors de la passation d'épreuves de classification, de combinatoire et de sériation de la batterie E.R.L.A (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé). Ces troubles sont caractérisés par un manque d'anticipation, une absence de rétroaction et de décentration, des conduites figuratives et une pensée peu mobile.

Des conduites de « faire pour faire » sont également mises en évidence : les patients n'agissent pas vers un but et ne cherchent pas un résultat d'action mais se contentent de passer les épreuves proposées en manipulant le matériel sans projet de résultat.

Au cours de l'épreuve de sériation (épreuves des correspondances sériales de la batterie ERLA) proposée aux sujets de l'étude de Gendre-Grenier & Vaillandet (2013), les auteurs constatent également un retour à la pensée figurative : « les patients n'ont pas de stratégie, on ne constate pas de conduites témoignant d'anticipation ou de rétroaction, ou alors de façon partielle. Ils fonctionnent la plupart du temps de proche en proche (caractéristique d'un fonctionnement de type figuratif, par essai-erreur) » (Gendre-Grenier & Vaillandet, 2013, p.219).

Les sujets réussissent à sérier les baguettes et les fentes la plupart du temps, toutefois ils ne parviennent pas à s'en servir pour répondre aux questions. Aussi, il leur semble difficile de coordonner deux informations et ont donc des difficultés à réaliser des inférences tout en tenant compte de l'antisymétrie (Gendre-Grenier & Vaillandet, 2013).

Rigolet (1997) cité par Rudio (2022), décrit également chez des patients cérébrolésés des difficultés de planification, de régulation et de contrôle métacognitif, de mise en relation des informations et d'inhibition. Les patients adoptent par ailleurs une démarche empirique en procédant par essais/erreurs lors de la passation des épreuves logico-mathématiques.

Les comportements observés dans ces études correspondent à ceux adoptés par des individus se situant à l'étape de la pensée pré-opératoire décrite par Piaget.

Cependant, la théorie piagétienne considère toutes les compétences logico-mathématiques comme opératoires à l'âge de 16 ans.

Cela laisse supposer que l'ensemble des structures logiques soient opératoires chez un individu adulte sain et que les comportements rapportés par les études marqueraient un retour des patients cérébrolésés à la pensée pré-opératoire.

Les études de Vincens & Casanovas (2020) et de Rudio (2022) observent quant à elles des comportements relatifs à la pensée pré-opératoire chez des adultes sains ne présentant pas de lésion cérébrale acquise. Ces résultats questionnent quant à l'origine des troubles logiques observés chez le patient cérébrolésé : est-ce la lésion cérébrale qui est à l'origine du trouble ou tout simplement l'adulte sain qui ne se situe pas systématiquement au stade piagétien de la pensée opératoire ?

Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) se questionnent également face au constat de nombreux praticiens qui soulèvent chez des adultes non-cérébrolésés « ayant acquis un niveau professionnel supérieur à la moyenne de la population une difficulté voire un échec » dans la réalisation d'épreuves logiques. Les auteurs ajoutent « comment expliquer cela chez ces adultes ? ».

Aussi, Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) expliquent que des inadéquations entre verbalisations et manipulations sont observées au cours de bilans logiques chez des enfants et des adolescents. Mais alors « qu'en est-il chez des adultes non-cérébrolésés chez lesquels on constate des difficultés voire des échecs à certaines épreuves ? » (Gendre-Grenier & Vaillandet, 2013, p.212).

Enfin, « peut-on parler de troubles cognitifs quand on observe des troubles logico-mathématiques chez les patients cérébrolésés puisqu'on ignore leur niveau antérieur ? » (Gendre-Grenier & Vailland, 2013, p.212).

### **3. Les enjeux de la rééducation orthophonique du patient cérébrolésé**

#### **3.1 La rééducation orthophonique du langage et de la communication du patient cérébrolésé**

Les lésions cérébrales acquises constituent un enjeu mondial de santé publique en étant notamment considérées comme la première cause de handicap acquis (Stocchetti et al., 2017). L'orthophonie occupe une place importante dans le domaine des LCA puisque de nombreux troubles dont peuvent souffrir les patients cérébrolésés et notamment les troubles phasiques relèvent d'une prise en soin orthophonique.

La Haute Autorité de Santé (2022) recommande par ailleurs la rééducation orthophonique des fonctions phasiques et communicationnelles dans le cadre d'accidents vasculaires cérébraux sur la base de preuves scientifiques établies.

Cette prise en soin orthophonique agit comme un catalyseur de la récupération du langage. Elle est toujours précédée d'un bilan orthophonique, réalisé sur la base d'épreuves normées.

#### **3.2 La rééducation orthophonique des troubles logiques du patient cérébrolésé**

Les troubles logiques mis en évidence par les travaux cités plus tôt méritent aussi une attention particulière.

Comme précédemment évoqué, Piaget et Inhelder établissaient déjà en 1998 les liens étroits reliant langage et logique.

Récemment, les études de Altenburger (2016) et Brylinski & Delbaere (2018) ont mis en exergue des liens entre les compétences logiques et pragmatiques des patients cérébrolésés. Les travaux d'Altenburger (2016) ont particulièrement révélés la potentialisation de la progression des habiletés pragmatiques lorsqu'une rééducation des structures logiques (de classification, d'inclusion et de sériation) est menée en parallèle à une rééducation de la pragmatique chez des patients cérébrolésés.

Ainsi, la rééducation des troubles logiques permet de catalyser la rééducation du langage et de la communication chez le patient cérébrolésé.

De plus, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment à partir de l'exemple de la sériation, les compétences inhérentes aux structures logiques trouvent leur application dans la vie quotidienne et pratique.

Prenons par exemple la structure de classification. Elle consiste à extraire un critère commun à des objets afin de les regrouper et de les organiser selon ce critère commun. Une application concrète de la classification serait de ranger les vêtements dans une armoire selon la saison à laquelle ils sont destinés.



La structure de combinatoire permet d'envisager et donc de prendre en compte tous les possibles dans une situation donnée. Une application concrète serait d'envisager les différents chemins possibles menant à un endroit donné.

Enfin, dans « Les maths à toutes les sauces », Guéritte-Hess (2005) cité par Daniel & Panot (2013) explique que « les actes de rangements les plus simples sont souvent des sériations ». Ainsi, en application concrète de la sériation on peut imaginer le rangement par empilement de cartons contenant des objets du plus lourd au moins lourd afin d'éviter le chancellement de la tour ainsi construite. Aussi, la sériation dans le temps permet le repérage dans une chronologie d'événements.

Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) expliquent qu'au cours de la rééducation logique, l'orthophoniste invite le patient à « utiliser ses propres processus de pensée pour faire la tâche avec le plus d'autonomie possible en ce qui concerne la procédure » (p.222).

Dans leur article, les auteurs rapportent des paroles de patients ayant bénéficié d'une rééducation logique. L'un d'entre eux dit « depuis que je viens en orthophonie, j'ai rangé autrement mes outils de jardin » (Gendre-Grenier & Vaillandet, 2013, p.223).

La rééducation de ces structures logiques trouve donc une application tout à fait fonctionnelle dans le quotidien des patients cérébrolésés ce qui peut favoriser leur reprise d'autonomie.

### 3.3 Le bilan orthophonique des structures logiques chez l'adulte cérébrolésé

Le bilan orthophonique est un acte de la nomenclature qui précède la rééducation. Il détermine le plan thérapeutique et les axes de rééducation nécessaires à une prise en soin efficace.

Pour ce faire, cet outil de diagnostic permet d'analyser le fonctionnement et les potentialités d'un individu afin de situer ses compétences sur un continuum du normal au pathologique.

Afin de situer l'individu sur ce continuum, le bilan orthophonique est normé, étalonné sur un échantillon de sujets.

Le bilan orthophonique se base sur des tests diagnostiques. La capacité informative d'un test repose sur sa sensibilité et sa spécificité :

- La sensibilité d'un test renvoie à la probabilité que le test soit positif (T+) sachant que la pathologie est présente chez le sujet (M+).
- La spécificité d'un test renvoie à la probabilité que le test soit négatif (T-) sachant que les sujets ne sont pas atteints par la pathologie (M-).

Idéalement, sensibilité et spécificité doivent être de 100 %.

Il n'existe à ce jour pas de bilan orthophonique investiguant les structures logiques chez l'adulte et permettant ainsi l'évaluation des structures logiques de l'adulte cérébrolésé. En effet, les bilans des troubles logiques habituellement utilisés en orthophonie ont été élaborés à partir d'épreuves piagétienne étalonnées sur des populations d'enfants ou d'adolescents. L'extrapolation des normes établies sur des enfants et adolescents à l'adulte sain semble peu fiable au vu des résultats des études de Vincens et Casanovas (2020) et de Rudio (2022).

Compte tenu de l'intérêt et des apports de la rééducation des structures logiques chez l'adulte cérébrolésé, il semble tout à fait important d'établir des bases de données rendant compte des

compétences dans les différentes structures logiques d'une population de référence et servant le bilan des adultes cérébrlésés.

L'investigation des structures logiques auprès d'adultes sains vise à établir une norme de fonctionnement afin d'estimer si les compétences des adultes cérébrlésés sont pathologiques ou non.

Les études de Vincens & Casanovas (2020) et de Rudio (2022) citées précédemment ont déjà proposé un examen des structures logiques de classification et de combinatoire chez des adultes sains.

C'est dans la suite de ces études que nous souhaitons inscrire la nôtre ayant pour objectif l'investigation de la structure logique de sériation chez des adultes sains.

## Partie pratique

### Hypothèses et objectifs

Dans la continuité des travaux de Vincens & Casanovas (2020) et de Rudio (2022), nous proposons une exploration de la structure logique de sériation auprès d'une population d'adultes sains dans l'objectif d'améliorer l'évaluation et d'adapter la rééducation des troubles logiques chez l'adulte présentant une lésion cérébrale acquise.

Nos hypothèses sont les suivantes :

Selon les travaux de Piaget (1968), l'enfant présente une sériation opératoire aux alentours de l'âge de 8 ans. Nous formulons ainsi l'hypothèse suivante :

**H0 - *Les adultes sains sont opérants pour la structure logique de sériation.***

Selon Houdé (2000), les habiletés logiques nécessitent l'activation de différentes fonctions exécutives dont la flexibilité mentale. Ainsi nous formulons l'hypothèse suivante :

**H1 - *Les sujets ayant de meilleures performances au test de flexibilité mentale (Trail Making Test) auront de meilleures performances en sériation.***

Houdé (2007) décrit plus spécifiquement le rôle joué par l'inhibition en expliquant que les erreurs aux situations piagétienne relèveraient plutôt d'un déficit d'inhibition que d'une absence de la structure logique en soi. De ce constat découle l'hypothèse suivante :

**H2 - *Les sujets ayant de meilleurs résultats au test d'inhibition (Stroop Victoria) auront de meilleurs résultats que les autres à l'épreuve de sériation***

Collette et al. (2014) rapporte que selon de nombreuses études, les trois fonctions exécutives de Miyake et al. (2000) subiraient une dégradation au cours du vieillissement cognitif. Aussi, les sujets jeunes et les sujets âgés mobiliseraient leurs ressources cognitives dans des mesures différentes sans pour autant atteindre des performances comparables. Nous formulons ainsi l'hypothèse suivante :

**H3 - *Les sujets plus jeunes auront de meilleurs résultats que les sujets plus âgés.***

Enfin, les études de Bialystok (2001) et de De Diego et al. (2006) expliquent que le switching entre les deux langues d'un sujet bilingue sollicite et renforce les fonctions exécutives. Plus le bilinguisme est précoce et simultané, plus les fonctions exécutives sont entraînées. L'activation de ces dernières intervenant dans les habiletés logiques et notre population d'étude étant constituée à moitié de bilingues simultanés et précoces (franco-alsaciens), nous formulons l'hypothèse que :

**H4 - *Les sujets bilingues auront de meilleurs résultats en sériation que les sujets monolingues.***

# Méthodologie

## 1. La population de l'étude

### 1.1 Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion pour la participation à l'étude étaient les suivants :

- Être francophone (bilingue ou non).
- Avoir entre 40 et 85 ans.

### 1.2 Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion de l'étude étaient les suivants :

- Prise en soins orthophonique antérieure pour troubles de la cognition mathématique ou troubles phasiques.
- Antécédents neurologiques (accident vasculaire cérébral, traumatisme crânien, ...) ou psychiatriques.
- Troubles moteurs au niveau des membres supérieurs.
- Troubles du langage écrit.
- Performances inférieures aux seuils fixés pour les épreuves d'inclusion investiguant les fonctions cognitives (LAST < 15/15 et MMSE < 27/30).

### 1.3 Répartition des sujets

Notre étude s'inscrivant dans la continuité de celles de Vincens et Casanovas (2020) et de Rudio (2022), nous avons choisi de répartir comme les auteurs de ces études nos sujets selon trois classes d'âge et selon leur niveau socio-culturel.

Nous avons également choisi de répartir nos sujets en fonction de la présence d'un bilinguisme ou non. Le classement selon le bilinguisme était établi de cette manière :

- Bilingue : sujet présentant un bilinguisme précoce et simultané (franco-alsacien).
- Non bilingue : sujet monolingue (français).

Les classes d'âge étaient les suivantes :

- C1 (classe 1) : de 40 à 55 ans
- C2 (classe 2) : de 56 à 70 ans.
- C3 (classe 3) : de 71 à 85 ans.

Les niveaux socio-culturels se définissaient de la manière suivante :

- NSC 1 (niveau socio-culturel 1) : niveau inférieur au baccalauréat.
- NSC 2 (niveau socio-culturel 2) : niveau équivalent ou supérieur au baccalauréat.

NSC	Classe d'âge	C1		C2		C3		Total
	Bilinguisme	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	
NSC 1		6	5	7	5	6	3	32
NSC 2		6	6	6	6	5	4	33
Total		12	11	13	11	11	7	65
		23		24		18		

**Tableau 8 : Tableau de répartition des sujets de l'étude en fonction de la classe d'âge, du niveau socio-culturel et du bilinguisme.**

## **2. Matériel de passation**

### **2.1 Tests d'inclusion à l'étude**

#### **2.1.1 Language Screening Test (LAST)**

Le Language Screening Test (LAST) est un test rapide d'évaluation du langage, initialement développé par Flamand Roze et al. (2011) permettant d'investiguer la fonction langagière chez des patients victimes d'un accident vasculaire cérébral.

Il est constitué de 5 subtests ayant pour objectif d'évaluer :

- Le versant expressif du langage oral (à partir d'épreuves de dénomination, de répétition et de séries automatiques).
- Le versant réceptif du langage oral (à partir d'épreuves de désignation et d'exécution d'ordres simples).

Le score total sur 15 points permet de rendre compte de l'intégrité ou de l'atteinte de certaines composantes du langage oral.

Un score inférieur à 15 témoigne d'une anomalie langagière.

L'utilisation du test LAST dans notre étude avait pour but l'exclusion des potentiels sujets présentant un déficit au niveau du langage oral pouvant biaiser la compréhension, l'exécution et la réponse aux consignes des épreuves de sériation et de fonctions exécutives. Tous les sujets ont eu des résultats satisfaisant au test LAST et aucun d'entre eux n'a été exclu de l'étude sur la base de ce test.

### 2.1.2 Mini Mental State Exam (MMSE version consensuelle du GRECO)

Le Mini Mental State Exam (MMSE) est un test évaluant les fonctions cognitives (attention, calcul, orientation spatio-temporelle, capacités d'encodage et de stockage en mémoire de trois mots, langage, praxies constructives) développé par Folstein et al. en 1975.

Le but du MMSE est de dépister rapidement les déficits cognitifs (notamment les troubles neuro-cognitifs).

Le MMSE utilisé dans notre étude est la version française adaptée en 2003 par le GRECO (Groupe de Réflexion sur les Evaluations Cognitives).

La passation du MMSE permet d'obtenir un score sur 30 points, le score limite étant fixé à 27/30.

Dans l'objectif de détecter d'éventuels troubles cognitifs pouvant biaiser les résultats des sujets aux tests de sériation et des fonctions exécutives, nous avons administré aux volontaires de l'étude le MMSE. Cela nous a permis d'exclure de notre étude deux participants ayant obtenu un score inférieur ou égal au score limite.

## 2.2 Épreuves relatives aux fonctions exécutives

Les épreuves relatives aux fonctions exécutives utilisées dans notre étude sont issues de la batterie GREFEX (2008).

La batterie GREFEX regroupe des tests cognitifs et comportementaux jugés sensibles, standardisés ayant été validés et normalisés auprès d'une population francophone (GREFEX, 2008).

### 2.2.1 Le Trail Making Test (TMT)

A l'origine, le Trail Making Test (TMT) a été développé par Partington en 1938.

Selon Inesta et al. (2021) cité par Pérez-Parra et al. (2023), le TMT est un indicateur des capacités de flexibilité mentale d'un sujet.

Il est constitué de deux parties : le TMT A et le TMT B.

- TMT A : au cours de sa passation, il est demandé au sujet de relier les nombres de 1 à 25 dans l'ordre croissant le plus rapidement possible sans jamais lever le crayon. Le TMT A mesure la vitesse d'exécution motrice, l'attention et les capacités visuo-motrices (Pérez-Parra et al., 2023).
- TMT B : au cours de sa passation, il est demandé au sujet de relier alternativement un chiffre et une lettre dans l'ordre croissant (de 1 à 13) et en suivant l'ordre alphabétique (de A à L). En plus des compétences énumérées dans le TMT A, le TMT B évalue les capacités de flexibilité mentale du sujet.

Le temps est mesuré, les erreurs et les persévérations sont notées lors de la passation des épreuves.

Le score du TMT B prend en compte en plus des capacités de flexibilité mentale du sujet ses capacités visuo-motrices, son attention et sa vitesse d'exécution motrice. Nous avons donc choisi de prendre en compte dans notre étude le score TMT B-A, c'est-à-dire le temps obtenu pour le TMT B moins le temps obtenu au TMT A, afin d'isoler particulièrement la fonction de flexibilité mentale des autres compétences mesurées par le TMT.

Nous avons réparti les sujets en trois groupes :

- TMT 1 : score obtenu inférieur à - 1 écart-type
- TMT 2 : score obtenu dans la moyenne
- TMT 3 : score obtenu supérieur à +1 écart-type.

### 2.2.2 Le Stroop Victoria

Le Stroop Victoria est un test mesurant les capacités d'inhibition d'un sujet en se basant sur l'effet d'interférence de Stroop (1935).

Il se compose des trois planches de passation suivantes :

- La planche C (couleurs) constituée de ronds de quatre couleurs différentes présentés en ligne, le sujet doit dénommer ces couleurs le plus rapidement possible et sans faire d'erreurs.
- La planche M (mots) constituée de quatre mots (« mais », « pour », « quand », « donc ») écrits en ligne dans quatre couleurs différentes. Il est demandé au sujet de dénommer la couleur de l'encre dans laquelle sont écrits les mots le plus rapidement et précisément possible.
- La planche I (interférence) sur laquelle sont inscrits les noms des quatre couleurs d'encre. Chaque mot est écrit dans une couleur d'encre différente de la couleur à laquelle il renvoie d'un point de vue sémantique. Le patient doit dénommer la couleur de l'encre dans laquelle sont écrits les noms de couleurs le plus rapidement et le plus précisément possible.

Le temps de réalisation est compté pour chaque planche tout comme le nombre d'erreurs commises.

Deux indices d'interférence sont calculés à l'issue de la passation de l'épreuve :

- L'indice if qui mesure les capacités d'inhibition du sujet quand l'interférence est faible.
- L'indice IF qui mesure les capacités d'inhibition du sujet quand l'interférence est forte (cet indice correspond à l'effet Stroop).

Dans notre étude, nous avons utilisé l'indice d'interférence forte (IF) afin de rendre compte des capacités maximales d'inhibition des sujets.

Nous avons réparti les sujets en trois groupes :

- IF 1 : score obtenu inférieur à -1 écart-type
- IF 2 : score obtenu dans la moyenne
- IF 3 : score obtenu supérieur à +1 écart-type.

### 2.3 Épreuves de sériation

Les épreuves de sériation utilisées dans notre étude sont issues de la batterie ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé).

La batterie ERLA est utilisée en orthophonie afin d'investiguer les structures logiques chez l'enfant et l'adolescent.

Le tableau 5 de notre étude rend compte du développement de la sériation selon la batterie ERLA. Afin d'établir ces repères, les auteurs de l'ERLA ont utilisé différentes épreuves de sériation de la batterie parmi lesquelles les épreuves de sériation intercalaire et de correspondances sériales qui permettent de rendre compte des conduites langagières et manipulatoires les plus opératoires pour la structure de sériation.

Dans le but d'investiguer la structure logique de sériation chez l'adulte sain, nous avons ainsi utilisé les épreuves de sériation intercalaire et de correspondances sériales de cette batterie.

#### 2.3.1 L'épreuve de sériation intercalaire (batterie ERLA)

Le matériel de l'épreuve de sériation intercalaire de la batterie ERLA se compose d'une plaque noire sur laquelle est collée une série de dix bâtonnets blancs de taille croissante et d'une deuxième série de 10 bâtonnets blancs libres de taille croissante pouvant s'intercaler dans la série encastrée sur la plaque.



Durant cette épreuve, deux items sont évalués :

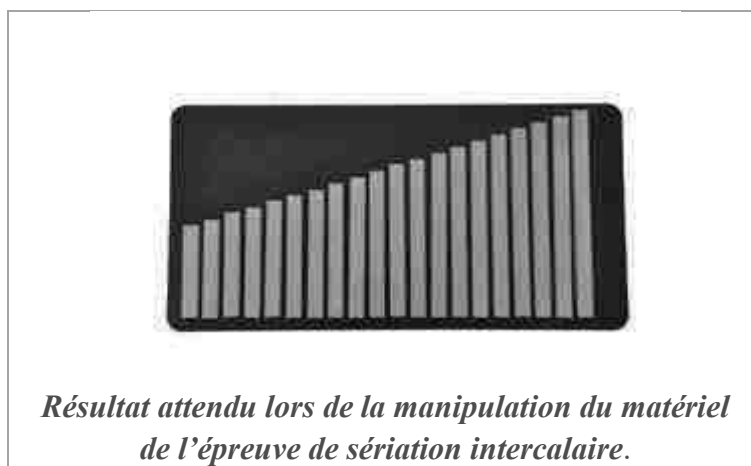
- **Item 1** : le sujet est invité à intercaler les bâtonnets libres entre les bâtonnets collés sur la plaque. La justification du placement est demandée pour chaque bâtonnet : « Voici un autre bâtonnet, si on devait le mettre avec les autres, où faudrait-il le poser pour qu'il soit bien arrangé ? Pour que tout soit bien arrangé ? Posez-le. Pourquoi il va bien là ? ».

Il est attendu que le patient intercale les bâtonnets en tenant compte de la relation asymétrique et fasse preuve d'anticipation et de rétroaction.



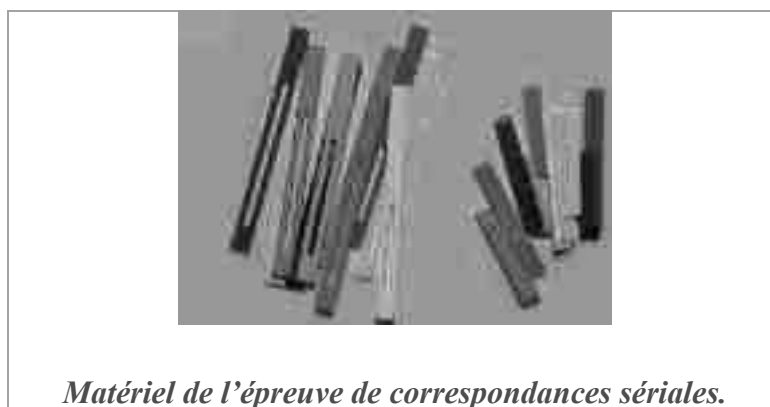
- **Item 2** : l'examineur pointe différents éléments parmi les 20 bâtonnets placés et demande au sujet : « Qu'est-ce que vous pouvez dire de celui-là par rapport à tous les autres ? ». Il est attendu que le sujet justifie par la relation d'ordre (en utilisant des termes comme « croissant » ou « décroissant »). Les termes définissant les groupes concernés doivent être employés par le sujet avec coordination (« il est plus grand que tout ceux-là et plus petit que ceux-là »).

Selon Voyer et al. (2013), cette épreuve permet également de mettre en évidence la capacité du sujet à coordonner la compréhension et l'extension de la série.



### 2.3.2 L'épreuve de correspondances sériales

Le matériel de l'épreuve de correspondances sériales comporte dix baguettes de couleurs différentes pouvant être sériées selon la longueur et dix fentes de différentes couleurs dont les tailles peuvent être appariées avec les baguettes.



Cette épreuve se compose de deux parties.

**Correspondances  
sérielles 1**

**Première partie.**

La première partie des correspondances sérielles 1 a pour objectifs d'observer chez le sujet sa capacité à réaliser des relations asymétriques entre les éléments au sein d'une double sériation mais aussi d'observer la capacité du sujet à opérer des liens entre les aspects ordinal et cardinal du nombre.

Cette partie comporte plusieurs items.

- **Item 1** : l'examineur donne les baguettes et les fentes au sujet et lui demande « Qu'est-ce que vous voyez ? Qu'est-ce que vous pouvez dire de tout ça ? ».
- **Item 2** : il est attendu que le sujet effectue le bon appariement entre les fentes et les baguettes laissées en vrac devant lui. L'examineur demande : « Arrangez-vous pour que chaque fente ait une baguette, que chaque baguette puisse passer par une fente ».
- **Item 3** : il est demandé au sujet de trouver une fente par laquelle toutes les baguettes pourront passer « Vous allez choisir une fente dans laquelle toutes les baguettes pourront passer l'une après l'autre, horizontalement » et une justification est demandée « Comment êtes-vous sûr que c'est celle-là ? Est-ce qu'il pourrait y en avoir une autre ? ». Si le patient échoue à cet item, l'item 4 ne lui est pas proposé.
- **Item 4** : cet item vise à investiguer la capacité du sujet à faire du lien entre l'aspect ordinal et l'aspect cardinal du nombre. L'examineur demande au sujet « Vous allez choisir une fente dans laquelle pourront passer trois baguettes, seulement trois, pas quatre, pas deux. Est-ce que vous pouvez déjà savoir laquelle ? ». Puis une fois que le sujet l'a trouvée, il lui est demandé « Que pouvez-vous dire de ces trois baguettes ? » et en montrant les autres « Que pouvez-vous dire de celles-ci ? ». Il est attendu que le patient donne une justification qui lie cardinal et ordinal (par exemple : « Il faut prendre la 3<sup>ème</sup> plus petite fente qui ne laissera passer que 3 baguettes »). Une question similaire est posée mais, cette fois-ci, une fente pour cinq baguettes est demandée.

**Deuxième partie.**

Cette deuxième partie permet d'observer chez le sujet sa capacité à inférer sur du matériel visible en tenant compte de l'antisymétrie.

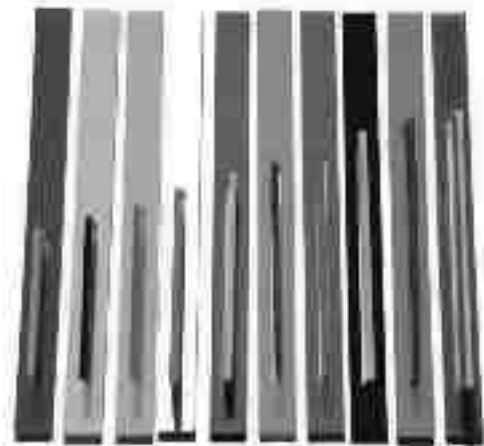
Durant cette partie, il est également possible de vérifier la compréhension du sujet des relations de transitivité, coordination et négation. Une phrase absurde est également proposée. La résistance à cette dernière du sujet objective la certitude de ses affirmations.

Deux fentes seulement sont posées devant le sujet, les baguettes sont toutes visibles.

L'examineur demande au sujet de choisir les baguettes qui correspondent aux consignes données et pour chaque baguette ou groupe de baguette, il demande au sujet : « Comment pouvez-vous parler de ces baguettes ? ».

Les quatre consignes sont les suivantes :

1. « *Quelles sont toutes les baguettes qui passent par la fente vert clair et la fente orange ?* » (relation de transitivité).
2. « *Quelles sont toutes les baguettes qui ne passent ni par la fente vert clair, ni par la fente orange ?* » (négation).
3. « *Quelles sont toutes les baguettes qui passent dans la fente orange mais pas par la fente vert clair ?* » (relation de coordination)
4. « *Quelles sont toutes les baguettes qui passent par la fente vert clair mais pas par la fente orange ?* » (phrase absurde).



*Résultat de l'appariement fentes-baguettes dans l'épreuve de correspondances sériales 1.*

<p><b>Correspondances sériales 2.</b></p> <p>L'épreuve de correspondances sériales 2 a pour objectifs d'observer chez le sujet sa capacité à inférer sur du matériel caché, à inférer des hypothèses en certitude (c'est-à-dire des hypothèses qui induisent une réponse positive ou négative) et des hypothèses en « peut-être ».</p>	<p><b>Première partie.</b></p> <p>La première partie des correspondances sériales 2 prend encore appui sur des données perceptives : le patient a devant lui les fentes visibles, les baguettes étant quant à elles cachées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Item 1</b> : lorsque l'examineur demande au sujet « Je prends une baguette, je ne vous dis pas sa couleur mais je vous dis qu'elle peut passer dans la fente orange. Que pouvez-vous me dire. Que pouvez-vous en déduire ? », il est attendu que le sujet énonce une double réponse comprenant une hypothèse en certitude (« je suis sûr que oui ») et une hypothèse en « peut-être ».</li> <li>- <b>Item 2</b> : La même question est posée par l'examineur mais cette fois-ci avec la fente bleu clair. Il est attendu que le sujet fournisse une réponse double comprenant une hypothèse en certitude (« je suis sûr que non ») et une hypothèse en « peut-être ».</li> </ul> <p>⇒ Si ces deux items sont échoués, l'épreuve prend fin.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Item 3</b> : dans la première partie de l'item 3, le sujet doit juger des inférences en certitude et en « peut-être » inscrites sur des étiquettes.</li> </ul> <p>Dans la deuxième partie de l'item 3, le sujet doit compléter des propositions en produisant des inférences en certitude et en « peut-être »</p>
	<p><b>Deuxième partie.</b></p> <p>La deuxième partie des correspondances sériales 2 ne prend appui que sur des données verbales, le matériel étant totalement invisible. Le sujet ne peut donc pas manipuler ou s'aider de ses perceptions, il doit être capable d'abstraire. Cela correspond aux sériations verbales décrites par Piaget, pour lesquelles l'enfant est capable, aux alentours de 12 ans, de raisonner à partir de connaissances abstraites sur les relations de sériation.</p> <p>Cette partie tend ainsi à observer ses capacités à inférer sur du matériel caché et uniquement à partir de propositions verbales. Pour ce faire, deux fentes qui n'existent pas dans la collection des dix fentes précédemment présentées au sujet sont inventées. Le sujet doit répondre à des propositions concernant ces fentes en produisant des inférences en certitude et en « peut-être ».</p>

### 2.3.3 Cotation aux épreuves de sériation

#### 2.3.3.1 Grille des niveaux de sériation selon les auteurs de l'ERLA

Afin de rendre compte des capacités en sériation des adultes, nous avons choisi de nous fier aux repères de développement de la sériation donnés par les auteurs de la batterie ERLA qui sont répertoriés dans le tableau 5 de notre étude (Voye, Frey & Guérin, 2013).

Ces repères de développement permettent de classer les individus selon des niveaux de sériation, le niveau 1A étant le plus faible et le niveau 3C étant celui de la sériation opératoire. Chaque niveau est caractérisé par des conduites spécifiques pouvant être observées à l'aide des différentes épreuves de sériation proposées par la batterie ERLA.

Nous n'avons proposé à nos sujets que les épreuves de sériation intercalaire et de correspondances sériales. Ces épreuves permettent d'observer des conduites des niveaux 3A, 3B et 3C et ne permettent pas d'analyser de manière approfondie des conduites correspondant aux niveaux 1A à 2C. Nous avons ainsi élaboré une grille reprenant les conduites décrites par Voye, Frey & Guérin. (2013) et devant être observées pour les niveaux 3A, 3B et 3C puisque ce sont les seuls niveaux que notre matériel nous permet d'observer. Afin d'appartenir à un niveau, le sujet doit remplir tous les critères de ce dit niveau. Seul le niveau 3C rend compte d'une sériation opératoire.

Nous avons ajouté à cette grille un niveau 0 correspondant aux sujets n'ayant pas rempli tous les critères du niveau 3A et se situant à un niveau inférieur, compris entre le niveau 1A et le niveau 2C, que nous n'avons pas pu quantifier avec exactitude à partir des données recueillies par notre matériel de passation. Ce niveau 0 correspond à un niveau de sériation inférieur à celui attendu chez des enfants de 8-9 ans.

#### 2.3.3.2 Grille d'analyse qualitative

En plus de la grille des niveaux, nous avons rempli pour chaque sujet de l'étude une grille plus qualitative permettant de vérifier le caractère opératoire de la sériation, visant à explorer :

- la manipulation du sujet ;
- le versant expressif du langage ;
- le versant réceptif.

Ces données ont été prélevées au cours des différentes épreuves de sériation.

### **3. Procédure générale de passation**

Après avoir été recruté, chaque sujet de l'étude s'est vu remettre une lettre d'information ainsi qu'un formulaire de consentement.

<b>Durée des passations.</b>	Chaque passation a été réalisée en une seule fois au domicile des sujets. La durée totale s'étendait entre 45 minutes et 90 minutes.
<b>Questionnaire d'inclusion à l'étude.</b>	Une discussion avec les sujets au début de la passation permettait de remplir un questionnaire contenant les critères d'inclusion et d'exclusion.
<b>Passation des épreuves.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans un premier temps, les tests d'inclusion à l'étude étaient proposés aux sujets : le LAST puis le MMSE.</li> <li>- Dans un second temps, les épreuves relatives aux fonctions exécutives étaient réalisées : les trois planches Stroop Victoria ainsi que les deux parties du TMT.</li> <li>- Enfin, les sujets étaient soumis aux épreuves de sériation de l'ERLA : dans un premier temps l'épreuve de sériation intercalaire puis les deux épreuves de correspondances sériales.</li> </ul>
<b>Conditions de passation.</b>	<p>Pour assurer la fidélité inter-juges, nous avons décidé :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- D'utiliser les mêmes grilles de passation.</li> <li>- De filmer les manipulations des sujets et d'enregistrer leur voix afin de permettre une double cotation à distance des épreuves.</li> </ul>

#### **4. Test statistique utilisé**

Pour vérifier la valeur statistique de nos données, nous avons utilisé le test de Student. Il permet de comparer si deux moyennes sont statistiquement différentes ou non.

Pour l'utiliser, les données doivent respecter ces conditions :

- les données observées sont indépendantes (deux groupes sans intersection) ;
- les données sont distribuées normalement ;
- les données ne comportent pas de valeurs extrêmes ;
- les variances des deux groupes (écart-types) sont similaires.

# Résultats

Nous avons choisi de représenter la plupart de nos résultats sous la forme de Box-plot ou “boîtes à moustaches”. Elles s’analysent comme suit :

- la croix représente la moyenne ;
- la ligne horizontale représente la médiane (la moitié des résultats se trouvent au-dessus de cette médiane et l’autre moitié en dessous) ;
- la boîte est appelée boîte de l’étendue interquartile : elle représente la moitié centrale (50 %) des données. Elle indique la distance entre le premier quartile Q1 (base de la boîte) et le troisième quartiles Q3 (sommet de la boîte).

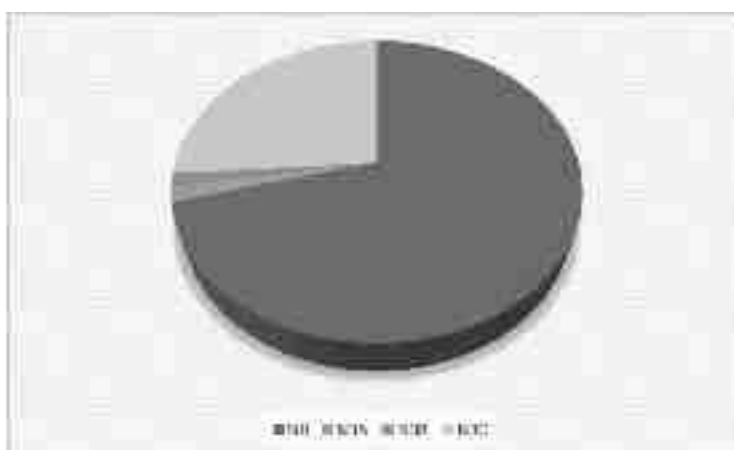
Les moustaches qui s’étendent de part et d’autre de la boîte représentent les plages des 25 % inférieurs et des 25 % supérieurs des valeurs de données, à l’exclusion des valeurs aberrantes ;

- les points représentent les valeurs aberrantes, c’est-à-dire qu’elles sont trop extrêmes pour correspondre à la tendance générale.

## 1. Résultats aux épreuves de sériation

Niveau	Effectif	Pourcentage
N0	46	70,8 %
N3A	1	1,5 %
N3B	1	1,5 %
N3C	17	26,2 %
<b>Total</b>	<b>65</b>	<b>100 %</b>

**Tableau 9 : Effectifs et pourcentages des sujets pour chaque niveau de sériation.**



**Graphique 1 : Répartition des sujets selon les quatre niveaux de sériation.**

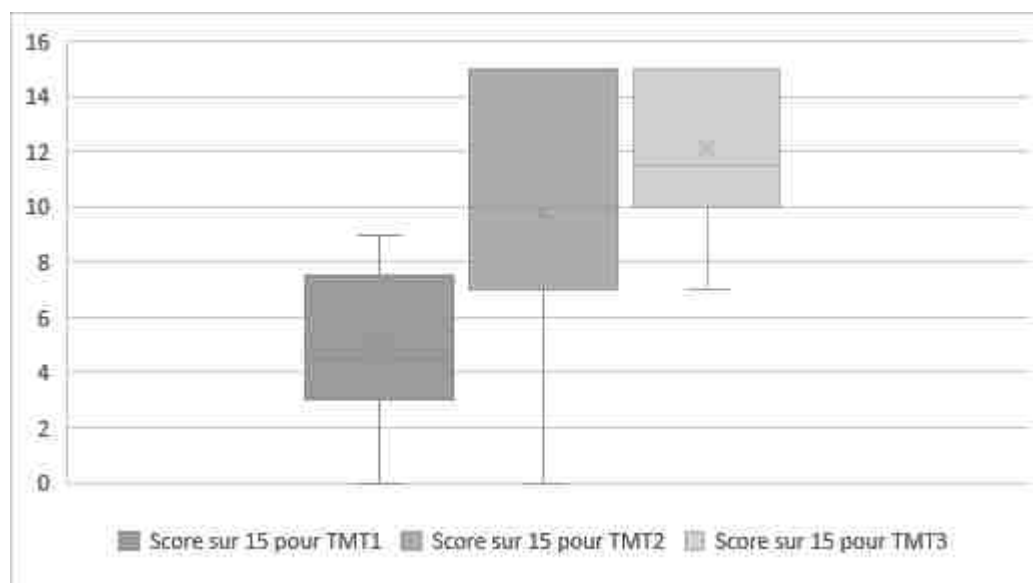
Après cotation des grilles de niveaux pour chaque sujet, nous observons que seuls 17 des 65 sujets atteignent le niveau 3C qui est le seul niveau rendant compte d’une sériation opératoire.

Ainsi, seuls 26,2 % des sujets de notre étude possèdent une sériation opératoire selon les repères développementaux de l'ERLA.

70,8 % des sujets sont classés dans le niveau N0 et présentent ainsi un niveau de sériation inférieur à celui attendu chez des enfants de 8-9 ans selon les auteurs de l'ERLA (cf. tableau 5). Nous détaillerons plus précisément leurs conduites dans la partie « Analyse des résultats » de notre étude.

**L'hypothèse H0 « Les adultes sains sont opérants en sériation » n'est donc pas validée.**

## **2. Fonctions exécutives**



**Graphique 2 : Score de sériation sur 15 en fonction des résultats du TMT.**

On remarque une dispersion beaucoup plus importante dans les résultats du TMT 2, qui s'étend sur l'ensemble des résultats possibles, tandis que les groupes TMT1 et TMT3 sont beaucoup plus regroupés. De plus, on voit qu'il n'y a pas d'intersection entre les boîtes de l'étendue interquartile de TMT1 et TMT3.

Le groupe TMT 1 a une moyenne de 4,83, tandis que les groupes TMT 2 et TMT3 ont une moyenne de 9,76 et 12,16 respectivement. Nous avons vérifié la valeur statistique de cet écart grâce au test de Student.

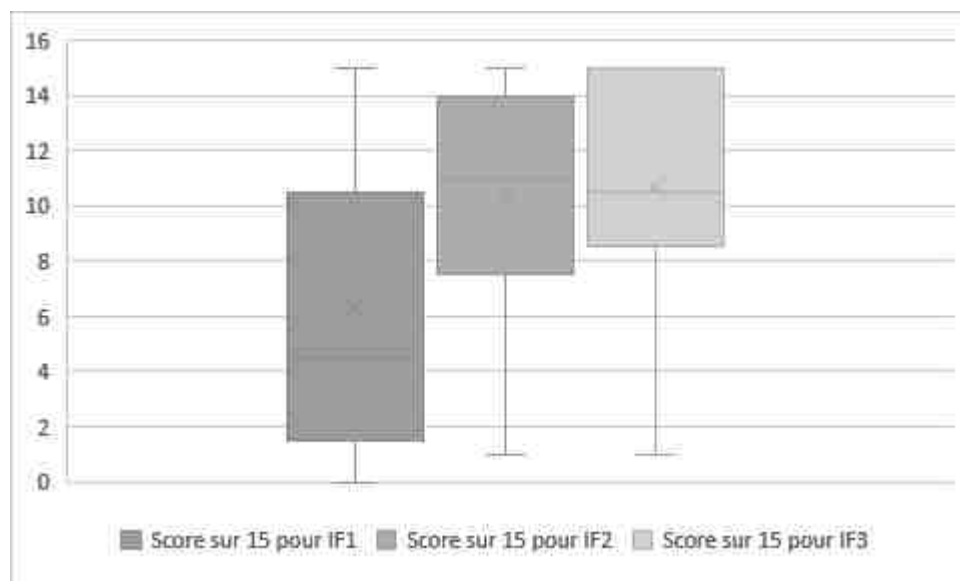
TMT1 et TMT3 sont indépendants, avec une distribution normale, sans valeur extrême et leurs variances sont similaires (écart-type TMT1 = 2,79 ; écart-type TMT3 = 2,64).

La p-value ainsi obtenue est de 0,0007. Ce résultat étant strictement inférieur à 0,05, nous pouvons conclure à sa significativité.

**L'hypothèse H1 « Les sujets ayant de meilleures performances au test de flexibilité mentale (Trail Making Test) auront de meilleures performances en sériation » est donc validée.**



### 3. Inhibition



**Graphique 3 : Score de sériation sur 15 en fonction des résultats du Stroop Victoria.**

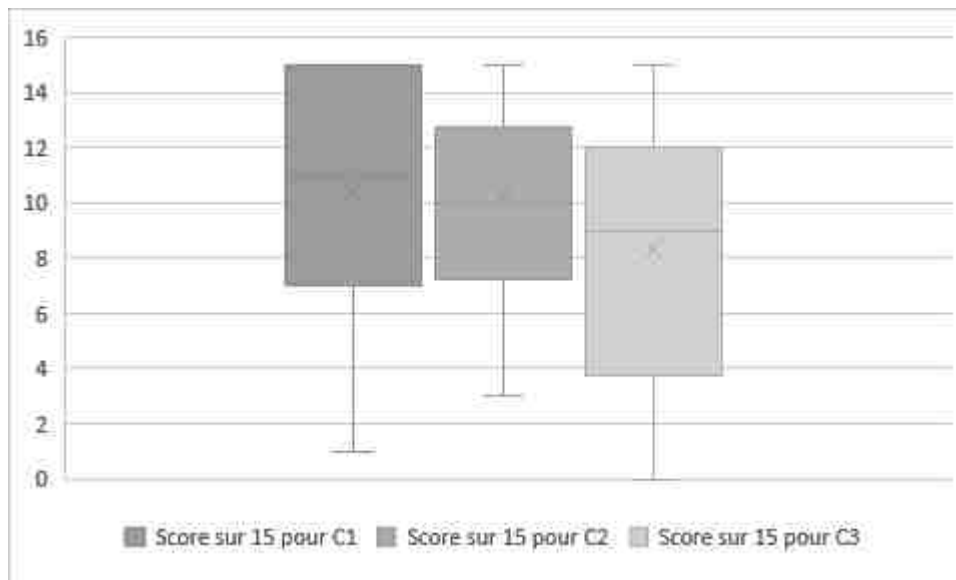
Le groupe IF1 présente une dispersion plus importante et une médiane bien plus faible que les groupes IF2 et IF3 qui sont plutôt similaires. On note un important décalage entre IF1 et IF3, leur moyenne étant de 6,3 et 10,7 respectivement. Pour vérifier la significativité de cet écart, nous avons utilisé le test de Student.

IF1 et IF3 sont indépendants, avec une distribution normale, sans valeur extrême et leurs variances sont similaires (écart-type IF1 = 5,25 ; écart-type IF3 = 4,08).

La p-value ainsi obtenue est de 0,046. Ce résultat étant strictement inférieur à 0,05, nous pouvons conclure à sa significativité.

**L'hypothèse H2 « Les sujets ayant de meilleurs résultats au test d'inhibition (Stroop Victoria) auront de meilleurs résultats que les autres à l'épreuve de sériation » est donc validée.**

#### 4. Âge



**Graphique 4 : Score de sériation sur 15 en fonction de la classe d'âge.**

On remarque que les trois classes d'âge ont des moyennes et des médianes relativement similaires. De plus, les résultats des trois présentent une forte dispersion entre Q1 et Q3, mais également au niveau des 25% inférieurs et supérieurs.

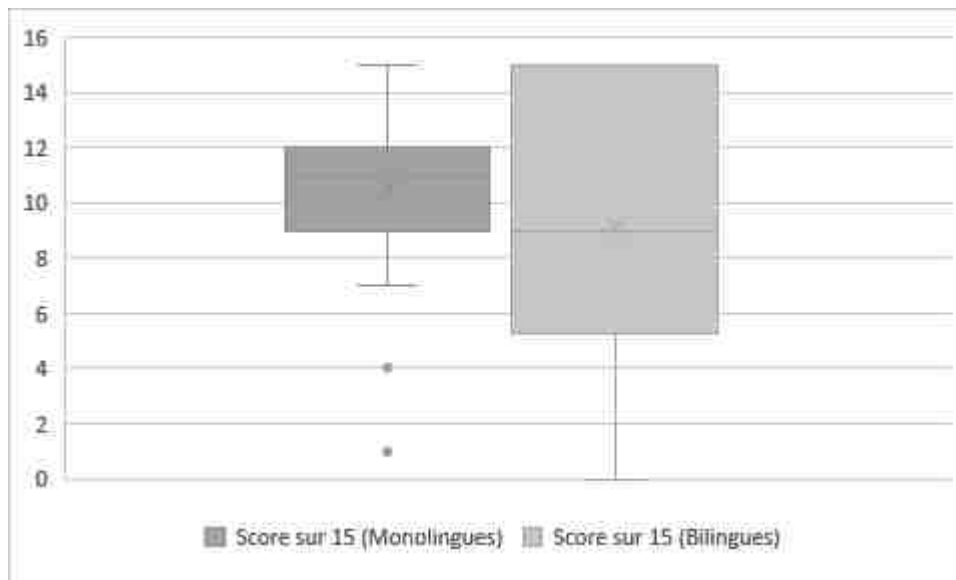
Pour savoir s'il existait une différence statistique entre les résultats en sériation des sujets jeunes et des sujets âgés, nous avons choisi de comparer la moyenne de la classe C1 (10,43) à celle de la classe C3 (8,33) grâce au test de Student.

C1 et C3 sont indépendants, avec une distribution normale, sans valeur extrême et leurs variances sont similaires (écart-type C1 = 4,44 ; écart-type C3 = 5,03)

La p-value ainsi obtenue est de 0,182. Ce résultat étant strictement supérieur à 0,05, nous ne pouvons conclure à une différence significative.

**L'hypothèse H3 « Les sujets plus jeunes auront de meilleurs résultats que les sujets plus âgés » n'est donc pas validée.**

## 5. Bilinguisme



**Graphique 5 : Score de sériation sur 15 en fonction du bilinguisme.**

Contrairement aux précédentes comparaisons, les résultats entre les monolingues et les bilingues sont très nettement différents. Les résultats des monolingues sont fortement regroupés autour de la moyenne (10,51) mais on note la présence de deux valeurs aberrantes (0 et 4). Les résultats des bilingues sont au contraire très dispersés, avec une moyenne de 9,13. Q1 et Q3 sont à 9 et 12 pour les monolingues, alors qu'ils sont à 5 et 15 pour les bilingues. Nous avons voulu réaliser un test de Student pour vérifier si cet écart entre les moyennes était statistiquement significatif.

Les groupes monolingues et bilingues sont indépendants, avec une distribution normale. Néanmoins, le groupe des monolingues comporte deux valeurs extrêmes (0 et 4) et les variances des deux groupes sont différentes (écart-type Monolingues = 3 ; écart-type Bilingues = 5,07). Même en retirant les valeurs extrêmes du groupe Monolingues, l'écart-type reste trop éloigné (2,09).

Il nous est donc impossible de réaliser un test de Student. Nous ne pouvons donc pas conclure à un écart significatif entre les deux moyennes.

**L'hypothèse H4 « Les sujets bilingues auront de meilleurs résultats en sériation que les sujets monolingues » n'est donc pas validée.**

# Interprétation des résultats

## 1. Analyses qualitatives des épreuves de sériation

Afin de nuancer la non-opérativité des sujets classés dans le niveau N0 (non-opérateur), nous avons analysé de manière plus détaillée leurs conduites verbales (expressives et réceptives) ainsi que leur manipulation.

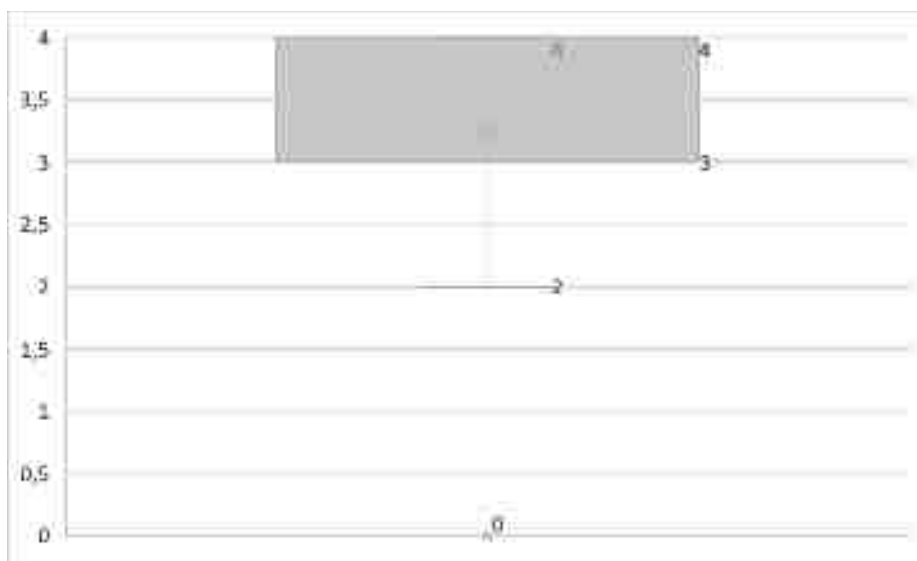
### 1.1. Grille qualitative pour la manipulation

La manipulation des sujets a été évaluée à travers quatre critères :

- l'anticipation de la place des baguettes selon leur taille ;
- la rétroaction des sujets ;
- la capacité à intercaler les baguettes en prenant en compte la relation asymétrique ;
- le respect de la base commune.

Score total	Effectif	Pourcentage
0	4/46	8,7 %
1	0/46	0 %
2	5/46	10,9 %
3	9/46	19,6 %
4	28/46	60,8 %

**Tableau 10 : Effectifs et pourcentages des scores totaux obtenus par les sujets N0 à la manipulation.**



**Graphique 6 : Box-Plot des résultats totaux des sujets N0 à la manipulation.**

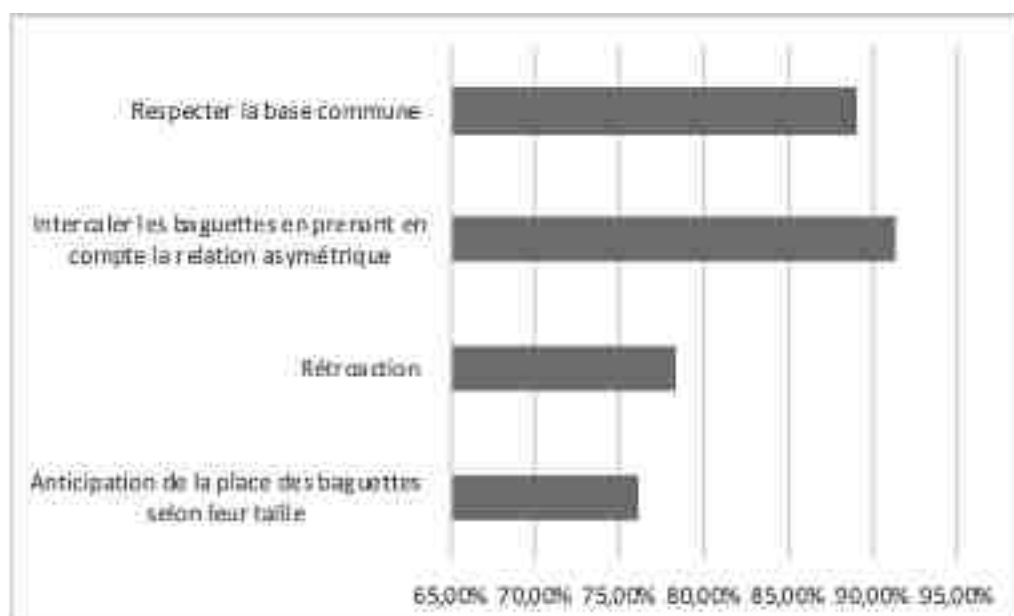
La médiane est de 4, ce qui signifie que la moitié des sujets ont obtenu un score de 4/4. La dispersion est très faible (3-4).

En effet, le calcul des pourcentages va également en ce sens en relevant que le score total majoritaire pour la manipulation est de 4/4 pour les sujets N0 (60,8 % d'entre eux l'ont obtenu).

Le tableau suivant détaille l'effectif et le pourcentage de sujets pour chaque critère de manipulation :

Critère	Effectif	Pourcentage
Anticipation de la place des baguettes selon leur taille	35/46	76,1 %
Rétroaction	36/46	78,3 %
Intercaler les baguettes en prenant en compte la relation asymétrique	42/46	91,3 %
Respecter la base commune	41/46	89,1 %

Tableau 11 : Effectifs et pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de manipulation.



Graphique 7 : Pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de manipulation.

Le diagramme bâtons montre que tous les critères sont présents chez plus de 50 % des sujets N0.

Le critère le plus fréquemment observé chez les sujets N0 est la capacité à intercaler les baguettes en prenant en compte la relation asymétrique (il est observé chez 91,3 % des sujets N0).

Le moins fréquemment observé est l'anticipation de la place des baguettes (il est observé chez 76,1 % des sujets N0).

Ainsi, malgré une non-opérativité certaine de la sériation, les sujets N0 présentent pour 60,8 % d'entre eux tous les critères de manipulation.

Cependant, certains d'entre eux présentent une manipulation totalement échouée (score de 0/4) caractérisée par des conduites très perceptives et figuratives (empilement de bâtonnets, insertion de bâtonnets dans le but de représenter une « courbe de musique »).

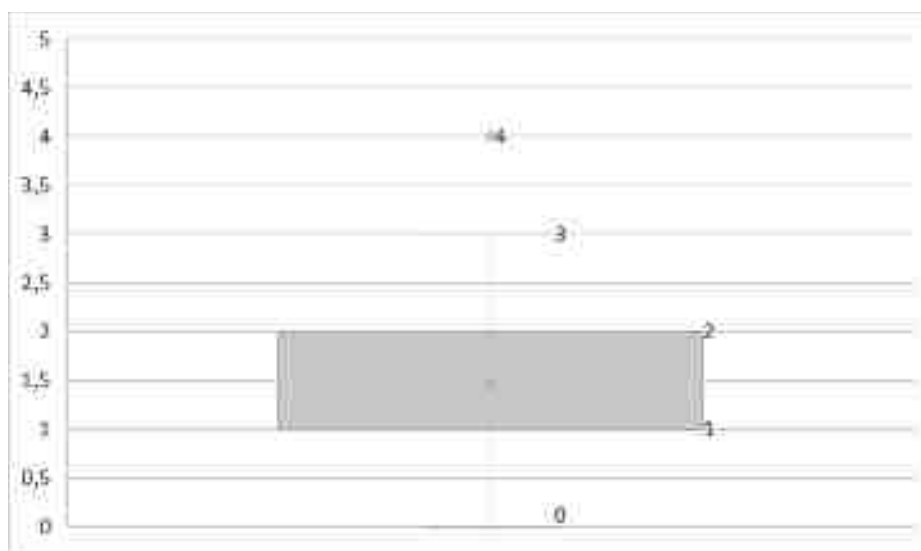
### 1.2. Grille qualitative des conduites verbales expressives

Les conduites verbales expressives des sujets ont été évaluées à partir de cinq critères :

- l'utilisation de la coordination « il est plus grand que tous ceux-là et plus petit que ceux-là » ;
- la justification par la relation d'ordre (« croissant »/« décroissant ») ;
- la capacité à coordonner l'extension et la compréhension de la série ;
- exprimer des hypothèses en certitude ;
- exprimer des hypothèses en « peut-être ».

Score total	Effectif	Pourcentage
0	9/46	19,6 %
1	15/46	32,6 %
2	16/46	34,8%
3	4/46	8,7 %
4	2/46	4,3 %
5	0/46	0%

**Tableau 12 : Effectifs et pourcentages des scores totaux obtenus par les sujets N0 aux conduites verbales expressives.**



**Graphique 8 : Box-Plot des résultats totaux des sujets N0 aux conduites verbales expressives.**

Alors que les sujets N0 atteignaient pour la grande majorité le score maximal pour la manipulation, ils n'atteignent que pour 34,8 % d'entre eux le score de 2/5 pour les conduites verbales expressives.

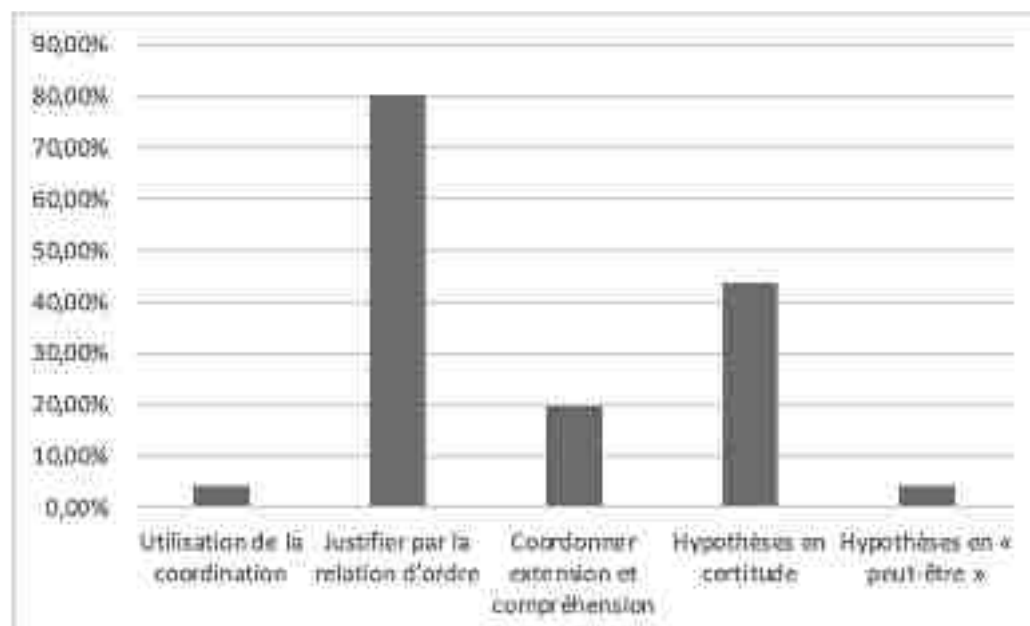
La plupart des sujets présentent un score total de 1/5 ou de 2/5, la dispersion est en effet assez faible (1-2).

Aucun sujet N0 ne parvient à valider le score maximal de 5/5 et seuls 4,3 % atteignent le score de 4/5.

Le tableau suivant détaille l'effectif et le pourcentage de sujets pour chaque critère de conduite verbale expressive :

Critère	Effectif	Pourcentage
Les termes définissant les groupes concernés sont employés avec coordination « il est plus grand que tous ceux-là et plus petit que ceux-là »	2/46	4,3 %
Justifier par la relation d'ordre (croissant/décroissant)	37/46	80,4 %
Capacité à coordonner la compréhension et l'extension de la série (dans les correspondances sériales 2 1 <sup>ère</sup> partie item 1)	9/46	19,6 %
Exprimer des hypothèses en certitude	20/46	43,5 %
Exprimer des hypothèses en « peut-être »	2/46	4,3 %

Tableau 13 : Effectifs et pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de conduites verbales expressives.



Graphique 9 : Pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de conduites verbales expressives.

Le diagramme bâtons montre que seul le critère « justifier par la relation d'ordre » est présent chez au moins 50 % des sujets N0. C'est par ailleurs le critère le plus retrouvé chez ces sujets (il est présent pour 80,4 % d'entre eux).

Même si 43,5 % des sujets parviennent à exprimer des hypothèses en certitude, seuls 4,3 % d'entre eux réussissent à produire des hypothèses en « peut-être ». Ce point est intéressant car le critère « hypothèses en peut-être » est un critère déterminant pour valider le niveau 3C (le niveau reflétant une sériation opératoire selon Voye, Frey et Guérin, 2013). Nous pouvons donc remarquer la présence de critères considérés comme marquant l'opérativité de la sériation chez un petit nombre de sujets considérés comme non opérants. Même si cette observation n'est pas significative, il est intéressant de noter l'hétérogénéité qui caractérise les conduites verbales observées dans le groupe N0 : beaucoup de sujets ne valident aucun critère alors qu'un petit nombre est capable de valider des critères marqueurs de l'opérativité de la sériation.

Si l'on prend l'exemple de la question de l'item 2 de l'épreuve de sériation intercalaire « Qu'est-ce que vous pouvez dire de ce bâtonnet par rapport à tous les autres ? », nous observons des réponses très variées au sein du groupe N0 :

- un sujet ayant obtenu un score de 0/15 a répondu « il va bien dans le piano »,
- un sujet ayant obtenu un score de 9/15 a répondu « c'est le 3ème en partant du début et le 18ème si on commence par la fin »,
- un sujet ayant obtenu un score de 13/15 a répondu « il est plus grand que tous les bâtonnets précédents et il est plus petit que tous les bâtonnets suivants ».

Certains sujets ont donc des réponses très figuratives tandis que d'autres répondent de façon opérante.

### 1.3. Grille qualitative des conduites verbales réceptives

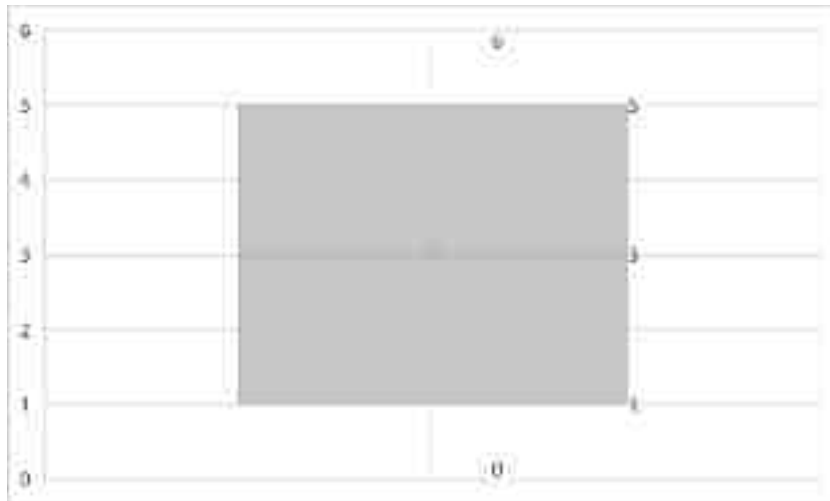
Les conduites verbales réceptives des sujets ont été évaluées à partir de six critères :

- la compréhension des relations de transitivité
- la compréhension des relations de coordination
- la compréhension des relations de négation
- la résistance à la phrase absurde
- la compréhension des hypothèses en certitude
- la compréhension des hypothèses en « peut-être »

Score total	Effectif	Pourcentage
0	9/46	19,6 %
1	4/46	8,7 %
2	4/46	8,7 %
3	7/46	15,2 %
4	9/46	19,6 %
5	7/46	15,2 %
6	6/46	13,0 %

**Tableau 14 : Effectifs et pourcentages des scores totaux obtenus par les sujets N0 aux conduites verbales réceptives.**





**Graphique 10 : Box-Plot des résultats totaux des sujets N0 aux conduites verbales réceptives.**

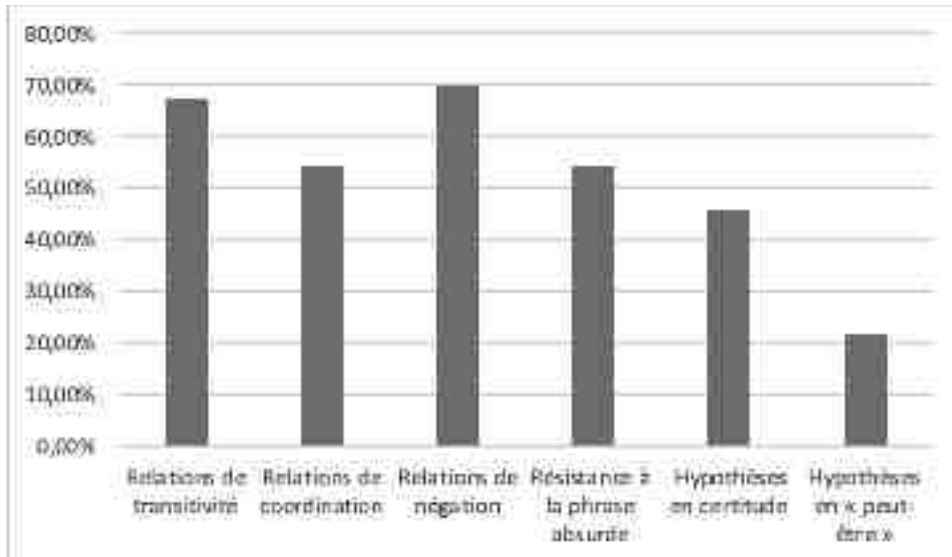
Les résultats totaux aux conduites verbales réceptives sont répartis de manière plus homogène que ceux des conduites verbales expressives, la dispersion est importante (1-5).

La médiane se situe à 3, ce qui signifie que la moitié des sujets ont obtenu un score total inférieur à 3/6 et la moitié des sujets ont obtenu un score total supérieur à 3/6.

Le tableau suivant détaille l'effectif et le pourcentage de sujets pour chaque critère de conduite verbale réceptive :

<b>Critère</b>	<b>Effectif</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>Relations de transitivité (« plus grand que ... et plus grand que... » / « plus petit que... et plus petit que ... »)</b>	31/46	67,4 %
<b>Relations de coordination (« plus grand que ... et plus petit que ... »)</b>	25/46	54,3 %
<b>Relations de négation (« ni plus grand que ... ni plus grand que ... » / « ni plus petit que ... ni plus petit que ... »)</b>	32/46	69,7 %
<b>Résistance à la phrase absurde</b>	25/46	54,3 %
<b>Répondre à des hypothèses en certitude</b>	21/46	45,7 %
<b>Répondre à des hypothèses en « peut-être »</b>	10/46	21,7 %

**Tableau 15 : Effectifs et pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de conduites verbales réceptives.**

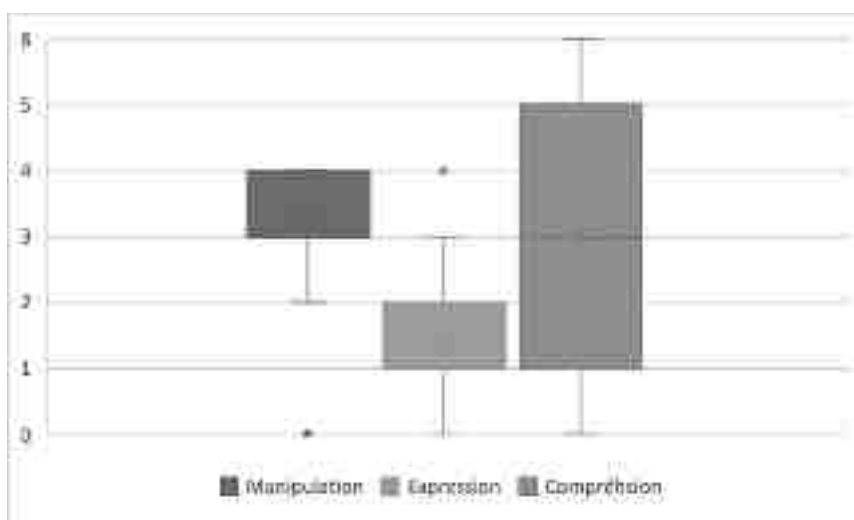


**Graphique 11 : Pourcentages des sujets ayant validé les différents critères de conduites verbales réceptives.**

Le diagramme bâtons montre qu’au moins 50 % des sujets N0 ont validé les critères pour les conduites verbales réceptives à l’exception des critères « hypothèses en certitude » et « hypothèses en “peut-être” » (ce dernier étant celui le moins fréquemment observé, chez 21,7 % des sujets N0 uniquement). Il semblerait également que les sujets N0 comprennent mieux les hypothèses en « peut-être » (21,7 % d’entre eux) qu’ils ne les produisent (4,3 % d’entre eux).

Le critère le plus fréquemment observé est la compréhension des relations de négation, ce qui est assez paradoxal puisque la compréhension des relations de négation apparaît plus tardivement que la compréhension des autres relations. En effet, les premières relations comprises sont celles de transitivité (à 5 ans et demi). Si nous raisonnons selon un prisme développemental, elles devraient être les plus fréquemment observées.

#### 1.4. Synthèse des grilles qualitatives



**Graphique 12 : Box-plot de synthèse des scores totaux aux trois grilles.**

Rappelons les scores maximaux pour chaque grille :

- manipulation : 4
- expression (conduites verbales expressives) : 5
- compréhension (conduites verbales réceptives) : 6

Le box-plot de synthèse nous montre que les sujets N0 atteignent davantage le score maximal pour la manipulation.

Ils ne l'atteignent jamais pour les conduites verbales expressives et l'atteignent rarement (pour 13,0 % d'entre eux) pour les conduites verbales réceptives.

Ainsi, il semblerait que leur manipulation soit meilleure que leur compréhension qui elle-même est meilleure que leur expression.

Nous faisons ainsi la même observation chez les adultes sains que Gendre-Grenier & Vaillandet (2013) ont fait chez des enfants et adolescents : bien souvent la manipulation et l'expression des adultes ne concordent pas.

Alors que leur manipulation pourrait témoigner d'une certaine opérativité de la sériation, leur expression révèle des conduites assez perceptives : « il va bien là car ça fait beau » ou encore « je le pose ici pour continuer à créer les touches de piano ».

## Discussion

### 1. Les limites

#### 1.1 Les biais

Pendant la réalisation de notre mémoire, nous nous sommes heurtées à plusieurs biais. Tout d'abord, notre mémoire comporte un certain biais de recrutement puisque les personnes recrutées étaient majoritairement des personnes qui avaient fait l'effort de nous contacter car elles étaient intéressées par notre travail. Il ne s'agit donc pas d'une population aléatoire et sa représentativité est à questionner.

Pour ne pas accentuer ce biais, nous avons fait en sorte de recruter une population aussi diversifiée et équilibrée que possible avec :

- autant de sujets ayant fait des études que de sujets n'ayant pas eu le bac ;
- des classes d'âge homogènes ;
- une moitié des sujets originaire d'Alsace et l'autre de Bourgogne ;
- autant de bilingues que de monolingues.

Durant les passations, nous avons également vu apparaître un biais de désirabilité sociale. La plupart des sujets nous ont fait part du stress parfois induit par les épreuves : inquiétude de ne pas être suffisamment bon en mathématiques, peur de se tromper ou de donner une mauvaise image d'eux,... Cela se manifestait par beaucoup d'excuses et de questionnements sur leurs résultats. A travers ces réactions, nous avons pu sentir à quel point les mathématiques sont considérées comme une matière complexe, réservée à une élite et dont la non-maîtrise apparaît comme un échec grave. Nous avons pourtant pris le temps d'expliquer que notre démarche s'intéressait à la logique et non pas aux mathématiques chiffrées, et donc plutôt à leur façon de raisonner qu'à leurs résultats. Ces explications n'ont pas suffi, pour la plupart des sujets, à effacer ce biais.

Nous nous sommes interrogées quant à un éventuel lien entre ce biais de désirabilité sociale et l'échec à l'item de « résistance à la phrase absurde » dans l'épreuve de correspondances sériales 1. Cet item consiste à proposer au sujet une affirmation absurde, qui se contredit et à laquelle il est impossible de répondre, il permet également de vérifier la certitude du sujet dans ses affirmations. Nous avons remarqué que 45,7% des sujets du groupe N0 échouent à cet item et que la plupart d'entre eux avait fait remarquer être « peu à l'aise » avec les mathématiques. Est-ce donc possible que leur faible confiance en leurs compétences biaise leur capacité à affirmer l'absurdité d'une phrase proposée par un examinateur ? Aussi, la désirabilité sociale les pousserait-elle à donner une réponse quoi qu'il arrive quand bien même ils se rendraient compte de l'absurdité de la phrase ?

## **1.2. Les conditions de passation**

Au vu de la taille de notre échantillon et de l'éloignement géographique, nous avons rencontré deux problèmes : notre façon de coter et les lieux de passation.

Les passations étant nombreuses et étalées dans le temps, nous n'avons pas pu les réaliser à deux. Afin de nous assurer d'avoir une cotation uniforme, nous avons filmé les passations pour pouvoir les reVISIONNER et éviter nos propres biais. En effet, nous pouvons tendre vers une interprétation trop indulgente des réalisations effectuées par des sujets que nous connaissions personnellement, ou ne pas être d'accord sur la validité d'une réponse donnée par l'un des sujets. Les vidéos nous ont permis d'accorder nos manières de coter et de discuter des résultats les plus complexes.

L'éloignement géographique a rendu impossible le fait d'avoir un seul lieu de passation pour tous nos sujets. De plus, même au sein d'une même région, nous nous sommes heurtées aux difficultés de planning de chacun des sujets. De ce fait, les passations ont souvent eu lieu directement chez nos sujets, avec toutes les difficultés que cela implique : tous les sujets n'ont pas eu les mêmes conditions de passation, que ce soit en termes d'aménagement, de luminosité ou de calme.

Par ailleurs, nous avons relevé au cours des passations deux autres difficultés : la durée des épreuves et les problèmes visuels.

Lors de nos passations tests, nous avons estimé la durée d'une passation à environ 45 minutes. Dans les faits, ce temps était bien souvent dépassé pour tendre vers des passations de plus d'une heure. Les derniers items des épreuves de sériation, qui étaient également les plus difficiles, arrivaient donc à un moment où les sujets étaient bien moins disponibles cognitivement. Les résultats sont donc certainement biaisés par cette notion de fatigabilité que nous n'avons pas pu éviter.

De plus, plusieurs de nos sujets – notamment les plus âgés et ceux portant des lunettes – se sont plaints de difficultés à distinguer les différences de taille entre les baguettes. D'autres encore ont signalé qu'il leur était difficile de bien percevoir les couleurs des baguettes et des fentes (particulièrement celles de couleur noire, bleu foncée ou vert foncé). Ces éléments posent la question de la pertinence de ce matériel pour des sujets âgés et/ou cérébrolésés pour qui ces troubles visuels sont souvent majorés.

## **1.3 Les épreuves**

### *Stroop Victoria*

Pour la cotation, nous nous sommes référées au tableur réalisé par Christine Moroni, professeure à l'Université de Lille, qui permet de calculer les indices. Cependant, le tableur a été réalisé sur des sujets à partir de 50 ans : notre échantillon allant de 40 à 85 ans, une petite partie de nos sujets a donc des résultats qui sont des extrapolations basées sur des sujets plus âgés. Compte tenu du petit nombre de sujets concernés, nous avons estimé que la marge

d'erreur provoquée par ces calculs était acceptable. Cependant, ce biais est à prendre en compte lorsqu'on s'intéresse aux résultats de notre hypothèse 2.

### *Trail Making Test*

Le TMT propose différents axes de cotation en fonction de ce que l'on souhaite observer. Pour notre mémoire, nous avons choisi de nous référer à la cotation TMT B – TMT A (qui soustrait le temps obtenu au TMT B à celui du TMT A) puisque ce calcul est celui qui met en avant la flexibilité. Cependant, il n'était pas possible d'y intégrer le nombre d'erreurs commises par les sujets. Puisqu'ils devaient corriger leurs erreurs pendant l'épreuve, leur temps était effectivement impacté. Néanmoins, faire une ou plusieurs erreurs est plutôt rare selon le reste de la cotation, ce qui signifie que leur présence n'est pas anodine quel que soit le temps obtenu par le sujet. Le calcul de la flexibilité, qui s'appuie exclusivement sur le temps, ne nous permet pas de rendre compte de cet élément. Ce test est en outre plutôt destiné à l'examen d'un sujet pathologique dans sa singularité, où l'on peut se référer facilement à plusieurs cotations en fonction des éléments qu'on remarque pendant la passation. Dans notre cas, notre population de 65 personnes saines ne se prêtait pas à ce genre d'analyse.

Nous avons cependant gardé la cotation du calcul de la flexibilité, tout en ayant conscience que cette vision reste un prisme qui implique des biais - comme toutes les autres décisions que nous aurions pu prendre.

### *Sériation*

L'ERLA a une approche qualitative de l'évaluation de la sériation. Dans le cadre de notre mémoire, nous avons dû modifier la grille de cotation pour y insérer des données quantifiables. Pour analyser ces résultats plus en détail, il nous a fallu également créer une grille qualitative. Ni l'une ni l'autre n'a pu être évaluée au préalable, ce qui rend nos résultats et analyses assez fragiles scientifiquement parlant.

Au-delà de la cotation, nous avons ressenti quelques difficultés par rapport à la formulation des énoncés. Dans l'épreuve de sériation intercalaire, l'item 2 a posé problème de façon récurrente. À l'exception des sujets opérants qui ont répondu correctement à tous les items, aucun sujet n'a bien répondu à la question : « qu'est-ce que vous pouvez me dire de ce bâtonnet-là par rapport à tous les autres ? »

La réponse attendue ici est de dire que le bâtonnet est plus grand que tous les bâtonnets le précédant, et qu'il est plus petit que tous les bâtonnets le suivant. La majorité des sujets comprenait la question sous la forme « quelle est sa place dans la série par rapport à tous les autres ? ». Pourtant lors de l'épreuve de correspondances sériales, il était souvent possible de voir ces mêmes sujets mettre en œuvre les capacités de regroupement et de coordination que l'on attendait au sein de l'item 2 de la sériation intercalaire. L'énoncé en lui-même semblait donc induire en erreur une partie de nos sujets.

Une autre limite de notre mémoire, dont nous avons conscience depuis l'élaboration de notre sujet, est la sélection de nos épreuves. En effet, nous avons orienté nos expérimentations vers

un seul type de sériation : la sériation de longueurs grâce aux bâtonnets et aux baguettes. Dans la mesure où notre travail ne pouvait pas être exhaustif, nous avons fait ce choix parce que l'ERLA propose de nombreuses épreuves de baguettes, nous permettant ainsi de cibler les épreuves les plus pertinentes dans notre situation.

Nous nous interrogeons maintenant sur l'utilisation de ce seul type de sériation afin d'évaluer si un sujet est opérant en sériation. La sériation de longueurs, notamment celle des baguettes, est-elle la plus écologique pour des adultes ? Par ailleurs, est-elle la plus pertinente pour des sujets cérébrésés qui peuvent présenter des troubles moteurs (hémiplégie) ou visuels (hémianopsie) rendant difficile la manipulation du matériel ? D'autres études pourraient apporter des réponses à ces interrogations.

## 2. Les intérêts de notre mémoire

Contrairement à ce que pouvait laisser penser la littérature, les adultes ne semblent pas opérants selon les critères que l'on retient habituellement pour les enfants et adolescents. Ainsi, de nombreuses personnes se trouvent classées à un niveau très faible de sériation, tout en étant capables de réaliser des tâches nécessitant des habiletés en sériation dans leur quotidien. Cette constatation nous a amenées à nous poser une série de questions :

- *Le matériel était-il trop « scolaire » et donc trop peu en lien avec les compétences des adultes ?*

Dans l'épreuve de sériation intercalaire, nous avons relevé des périphrases nombreuses et variées (« les bâtonnets montent du plus petit au plus grand », « les barres descendent du plus grand vers le plus petit », « les bâtonnets sont rangés par ordre de taille ») qui venaient remplacer les termes « croissant/décroissant » attendus par l'ERLA. Pourtant il ne semble pas absurde de considérer que la majorité des adultes comprend et sait utiliser ces termes. Nous avons notamment eu le cas d'une passation où le fils de 12 ans d'un des sujets était présent. A la fin des épreuves, il nous a fait remarquer à voix haute qu'il ne comprenait pas pourquoi sa mère n'avait pas employé le terme « croissant ». Nous supposons donc que certains termes et éléments attendus dans l'ERLA sont évidents pour des enfants encore à l'école où ces termes sont très présents, mais ne viennent pas aussi spontanément aux adultes puisqu'ils ne font plus forcément partie de leur quotidien.

- *La chronologie des stades est-elle pertinente chez l'adulte ?*

Parmi nos sujets en N0, beaucoup étaient capables de réussir une partie des éléments des niveaux 3B ou 3C, parfois même avec plus de facilité que les éléments du niveau 3A. Autrement dit, certains étaient relativement à l'aise avec la sériation sans matériel, c'est-à-dire en s'appuyant uniquement sur des éléments verbaux, alors que les items plus simples n'étaient pas entièrement réussis. Ces constatations semblent aller à l'encontre des principes de stades de développement connus chez l'enfant. Ces principes affirment que l'on ne peut atteindre un stade supérieur que lorsque les stades inférieurs sont en place.

Dès lors, nous nous posons les questions suivantes :

- Est-ce que les items s'appuyant sur le matériel ne sont pas totalement réussis car ils ne sont pas écologiques pour l'adulte ? Les adultes auraient donc « perdu » ces compétences, sur le principe du « use it or lose it » : puisqu'ils n'ont plus besoin de manipuler des objets à la manière des épreuves de l'ERLA dans leur quotidien, ils sont devenus moins performants.
- Ou alors est-ce que chez ces sujets, la sériation n'a jamais été parfaitement mise en place ? Cela expliquerait que malgré les réussites possibles sur certains items des niveaux supérieurs, il n'y a pas de réussite complète à un niveau 3C avec un niveau 3A lacunaire. Le modèle en stades pourrait alors être remis en question puisque des items considérés comme supérieurs sont acquis par certains sujets alors même que d'autres items plus inférieurs n'ont pas émergé.

Cela nous amène cependant à la question de la nécessité de valider tous les niveaux, voire d'être opérant : nos sujets N0 n'ont aucune plainte malgré leurs résultats, ou du moins aucune plainte suffisamment invalidante au quotidien pour consulter un professionnel de santé (certains relatent un « faible niveau en mathématiques » mais le présentent plus comme un « défaut de personnalité » que comme un trouble fonctionnel).

De ce fait, notre mémoire apporte une mise en perspective des difficultés potentiellement relevées chez un sujet cérébrolésé. Dans une population saine, on ne remarque en effet pas autant de réussite que ce que pouvait laisser penser la littérature. Ne pas réussir les épreuves de sériation pour un sujet cérébrolésé n'est pas à ignorer puisqu'il pourrait s'agir d'un symptôme de sa lésion ; cependant, il semble désormais intéressant de garder à l'esprit que des niveaux lacunaires en sériation n'entravent pas en soi une bonne intégration sociale ou professionnelle.

Notre mémoire met également en lumière le rôle des fonctions exécutives dans la sériation. Selon les données relevées pendant ce mémoire, avoir de bonnes capacités d'inhibition et de flexibilité semblent liés à la réussite aux épreuves de sériation. Cette conclusion est intéressante dans le cadre d'une prise en soin orthophonique puisqu'elle donne un nouvel axe de travail à suivre si la rééducation seule de la sériation ne semble pas suffire et encourage l'investigation des fonctions exécutives.

### **3. Les perspectives**

#### **3.1 Perspectives de recherches**

*Investiguer d'autres types de sériations.*

Par souci de faisabilité, nous n'avons investigué qu'un seul type de sériation : la sériation de longueur. D'autres travaux pourraient envisager l'investigation des sériations tactiles (de poids) ou encore des sériations numériques chez les adultes sains puisque ces types de sériations trouvent également leur application dans le quotidien et leur rééducation serait tout à fait écologique et profitable aux adultes cérébrolésés.



*Investiguer un éventuel effet de potentialisation de la rééducation des fonctions exécutives sur la structure de sériation.*

Dans notre étude, nous avons mis en évidence un lien entre les capacités en inhibition et en flexibilité mentale des sujets avec leurs capacités en sériation. En effet, meilleures étaient leurs compétences au test du Stroop Victoria et au test du TMT, meilleures étaient leurs compétences en sériation.

Les études de Vincens & Casanovas (2020) et de Rudio (2022) n'ont pas permis de mettre en évidence un tel lien entre fonctions exécutives et structures logiques de classification et de combinatoire.

Ainsi, pour la structure logique de sériation, nous nous sommes posé la question de la pertinence d'une étude visant à évaluer l'éventuelle potentialisation de la rééducation de la sériation par un entraînement spécifique des fonctions exécutives de flexibilité mentale et d'inhibition.

*Investiguer l'effet de la mémoire de travail sur les compétences en sériation.*

Russel (2000) décrit la nécessité de l'activation de certaines fonctions exécutives dont l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail pour les habiletés logiques.

Dans notre étude, nous avons étudié l'influence de l'inhibition et de la flexibilité mentale sur la structure de sériation, toutefois, nous n'avons pas investigué l'influence de la mémoire de travail.

Or, il semblerait tout à fait intéressant de l'analyser puisque les épreuves de sériation proposées nécessitent clairement l'utilisation de sa mémoire de travail par le sujet (par exemple pour la rétention des consignes pendant la manipulation du matériel, pour manipuler mentalement les informations, pour comprendre les consignes).

La mise à jour en mémoire de travail est également très sollicitée lors des épreuves de sériation puisque les consignes s'enchaînent et se ressemblent.

Pour ce faire, l'épreuve de la double tâche de Baddeley pourrait être utilisée.

*Investiguer l'influence de la profession des sujets sur les capacités de sériation.*

Nous n'avons pas analysé le lien entre le niveau socio-culturel et les résultats obtenus aux épreuves de sériation. Toutefois il semblerait que parmi les sujets opérants, la majorité aurait un niveau supérieur au baccalauréat.

Au-delà du niveau socio-culturel, nous nous sommes posé la question d'un lien entre la profession et le niveau en sériation. En effet, au cours de nos passations, certains des sujets ont évoqué leur profession et certains passe-temps qu'ils mettaient en rapport avec les épreuves de sériation de longueurs. Parmi les sujets opérants en sériation, nous avons recensé des professions telles que menuisier et des passe-temps comme la création de maquettes. Ces différentes activités nécessitent la création et la manipulation de pièces de bois de différentes longueurs.

Pourrait-on ainsi faire un lien entre de meilleures compétences en sériation et une profession qui nécessite l'utilisation de la sériation (et qui donc par la même occasion entraîne les

capacités en sériation) ? Dans le but de proposer un bilan et une rééducation écologiques, analyser cet aspect nous semble particulièrement intéressant.

*Mettre en place des épreuves de sériation plus écologiques.*

Le bilan orthophonique a pour objectif premier la construction d'un projet thérapeutique. La rééducation quant à elle vise un transfert dans la vie quotidienne des objectifs travaillés dans le contexte artificiel du bureau de l'orthophoniste. La rééducation se veut ainsi la plus écologique possible en utilisant du matériel proche du quotidien du patient afin de favoriser le transfert des aptitudes.

Nous nous sommes donc interrogées quant à l'utilisation avec des patients cérébrolésés d'un matériel de bilan plus écologique et fonctionnel, plus proche du quotidien qui permettrait tout de même d'investiguer les aspects langagiers (sur les versants compréhension et expression) ainsi que la manipulation (par exemple, utiliser des casseroles de différentes tailles et adapter les consignes des épreuves de sériation à ce matériel).

Nous nous sommes également posé la question de la nécessité d'adapter la durée de ces épreuves et la formulation des consignes aux caractéristiques de la population cérébrolésée (fatigabilité, fragilités exécutives, mnésiques, phasiques : proposer des consignes courtes, des passations fractionnées). Cependant, le bilan orthophonique cherche à objectiver une éventuelle différence du sujet par rapport à une norme et les épreuves proposées tendent à refléter les compétences moyennes à acquérir. Trop adapter les épreuves reviendrait à biaiser les résultats obtenus et leur interprétation.

### **3.2 Perspectives orthophoniques**

*Penser en termes d'analyse qualitative.*

La dichotomie « opérant/non-opérant » n'est finalement pas ce qui nous intéresse le plus lors du bilan de la sériation et des structures logiques de manière générale.

C'est l'analyse qualitative des conduites verbales et de manipulation qui permettra en réalité de mettre en place un plan thérapeutique adapté au patient et à ses besoins. Même s'il est important de pouvoir comparer le sujet cérébrolésé à une norme (ici l'opérativité ou non de la structure de sériation chez l'adulte sain), il est surtout nécessaire dans une perspective orthophonique de rééducation de pouvoir cibler qualitativement l'absence ou la présence de certaines conduites afin de les travailler spécifiquement dans une perspective écologique et proche du quotidien du patient tout en prenant en compte ses besoins, ses plaintes et son adhésion au projet thérapeutique.

Notre mémoire cherchait ainsi à mettre en évidence une norme, une tendance de l'opérativité de la structure de sériation dans une population d'adultes sains, cependant il avait également et surtout pour but de nuancer le terme de « non-opérant » en proposant une analyse qualitative des conduites retrouvées chez des sujets sains dits « non-opérants ». Cette analyse qualitative pourra être reprise avec des sujets cérébrolésés et pourra nuancer leur éventuelle « non-opérativité ».

## Conclusion

Notre mémoire avait pour objectif la réalisation d'une base de données de la compétence logique de sériation chez l'adulte sain, permettant d'améliorer l'évaluation des troubles logiques chez l'adulte présentant une lésion cérébrale acquise. Dans ce but, nous avons recruté 65 sujets sains âgés de 40 à 85 ans, auxquels nous avons proposé deux épreuves de sériation issues de l'ERLA et deux épreuves pour tester l'inhibition et la flexibilité (le Stroop Victoria et le Trail Making Test).

Puisqu'il n'existe pas de batterie adulte testant la sériation et puisque l'ERLA est destinée à des enfants et adolescents, nous avons dû adapter les cotations des épreuves proposées. En effet, les adultes, que nous supposons opérants compte tenu des âges d'acquisition de la sériation évoqués par les théories constructivistes, sont 73,8% à obtenir des résultats les classant comme non opérants (N0).

Nos sujets N0 ne sont néanmoins pas complètement dénués de compétences en sériation. Néanmoins, leurs compétences ne semblent pas suivre l'analyse en stades de développement utilisée chez les enfants. Certains de nos sujets n'ont donc pas validé les premiers stades mais ont tout de même réussi des éléments appartenant aux stades les plus avancés. Pour mieux analyser et nuancer ces résultats, nous nous sommes appuyées sur une grille qualitative que nous avons créée. En se penchant plutôt sur des aspects qualitatifs, on remarque que :

- 60,8% des N0 ont obtenu la note maximale en manipulation,
- 0% des N0 ont obtenu la note maximale en expression,
- 13% des N0 ont obtenu la note maximale en compréhension.

Pourtant, ces personnes non opérantes n'ont aucune plainte dans leur vie quotidienne.

Dès lors, nous pouvons nous questionner sur la pertinence de l'analyse en stade pour l'adulte mais également sur ce que nous évaluons réellement en faisant passer ce type d'épreuves :

- la batterie ERLA s'appuie sur un vocabulaire scolaire que la plupart des adultes n'emploient plus,
- la sériation de baguette n'est pas forcément la forme la plus écologique de la sériation,
- ces passations impliquent de nombreux biais (désirabilité sociale, préjugés, manque de confiance en soi,...).

En pratique, les résultats obtenus par un patient cérébrolésé sont obligatoirement à nuancer et à remettre dans un contexte plus global : au sein d'une population saine, la sériation n'apparaît pas comme systématiquement opérante. Ainsi, nous ne pouvons qu'encourager les orthophonistes à prendre le temps d'analyser qualitativement les productions de leurs patients et leurs plaintes en situation écologique afin d'adapter la prise en soin en fonction de leurs difficultés effectives et non pas seulement en fonction d'une dichotomie « opérant/non opérant » qui n'a pas de sens dans cette situation.

Au vu des liens étroits qu'entretiennent la sériation et le langage, la rééducation orthophonique des structures logiques est un axe à ne pas négliger dans la prise en soin de l'adulte cérébrolésé. De plus, les fonctions exécutives comme l'inhibition et la flexibilité semblent avoir un impact sur la réussite en sériation. Une prise en soin multimodale nous apparaît donc comme particulièrement pertinente pour ces patients.

## Bibliographie

- Altenburger, J. (2016). *Intérêt de la rééducation du raisonnement logique chez les patients cérébrolésés présentant des troubles de la pragmatique*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.
- ARS Ile de France. (2020). *Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC)*. Site internet.  
<https://www.iledefrance.ars.sante.fr/accidents-vasculaires-cerebraux-avc>
- Balas, E. (2020). *Utilisation du nombre au quotidien, déclin cognitif et raisonnement dans la maladie d'Alzheimer. Intérêt clinique de l'élaboration de profils types en fonction des performances cognitives et logiques*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Limoges.
- Blitman, D. (2020). Le langage est-il inné ? : Une approche philosophique de la théorie de Chomsky sur le langage. In *Le langage est-il inné ? : Une approche philosophique de la théorie de Chomsky sur le langage*. Presses universitaires de Franche-Comté.
- Bloch, S. (1981). Cl. Meljac—Décrire, agir et compter. *Psychologie clinique et projective*, 32(1), 145-147.
- Boiteux, M. (2015). *Rôle du raisonnement logique dans la prise en charge de l'acalculie. Proposition de rééducation de la classification et de la sériation auprès de patients cérébrolésés adultes*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.
- Brin, F. (2004). *Dictionnaire d'orthophonie (2è)*. Ortho Edition.
- Brin-Henry, F. (2011). *Dictionnaire d'orthophonie (3è)*. Ortho Edition.
- Brylinski, & 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]. Université de Strasbourg.
- Carlsberg, M. (2019). *Processus psychologiques, qualité de vie et devenir professionnel après lésion cérébrale acquise. Une étude longitudinale auprès de patients participant à un programme d'aide à l'intégration communautaire*. [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux].
- Carota, A., Dieguez, S., & Bogousslavsky, J. (2005). Psychopathologie des accidents vasculaires cérébraux. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 3(4), 235-249.
- Cavé, M. (s. d.). *Raisonnement logique chez l'adulte cérébrolésé : Exploration des difficultés. Recherche de corrélations avec les déficits des compétences mathématiques*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.

- Chomsky, N. (1962). The Logical Basis of Linguistic Theory. *Preprints of Papers from the 9th International Congress of Linguists*, 509-574.
- 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>
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Chapter 11—Executive functions. In M. D’Esposito & J. H. Grafman (Éds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 163, p. 197-219). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Dana-Gordon, C. (2013). *Bilinguisme et fonctions exécutives : Une approche développementale*. [These de doctorat, Bordeaux 2].
- Daniel, C., & Panot, G. (2013). *Elaboration d’un protocole remédial visant à entraîner la structure logique élémentaire de sériation : Utilisation auprès de quelques enfants en difficulté avec cette structure de pensée* [Mémoire d’orthophonie]. Université de Lille.
- Dehaene, S. (2010). *La Bosse des maths : Quinze ans après*. Odile Jacob.
- Dolle, J.-M. (1991). *Pour comprendre Piaget*. (Privat).
- Eskenazi, A. (2012). *Logique et langage : Liens entre structures logico-mathématiques et langage élaboré chez l’adolescent, de 11 à 20 ans, pris en charge en orthophonie*. [Mémoire d’orthophonie]. Université de Nice.
- Etienne, V., Marin-Lamellet, C., & Laurent, B. (2008). Évolution du contrôle exécutif au cours du vieillissement normal. *Revue Neurologique*, 164(12), 1010-1017. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2008.03.021>
- Fayol, M. (2018). *L’acquisition du nombre*. (Presses Universitaires de France).
- Flamand-Roze, C., Falissard, B., Roze, E., Maintigneux, L., Beziz, J., Chacon, A., Join-Lambert, C., Adams, D., & Denier, C. (2011). Validation of a New Language Screening Tool for Patients With Acute Stroke. *Stroke*, 42(5), 1224-1229. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.609503>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”. *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)
- Garbin, G., Sanjuan, A., Forn, C., Bustamante, J. C., Rodriguez-Pujadas, A., Belloch, V., Hernandez, M., Costa, A., & Ávila, C. (2010). Bridging language and attention : Brain basis of the impact of

bilingualism on cognitive control. *NeuroImage*, 53(4), 1272-1278.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.078>

Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1986). *The Child's Understanding of Number*: Harvard University Press.

Gendre-Grenier, L., & Vaillandet, C. (2013). Approche logico-mathématique chez les adultes cérébrolésés : Une perspective complémentaire. *Rééducation Orthophonique*, 255, 203-224.

Goldman, L., Siddiqui, E. M., Khan, A., Jahan, S., Rehman, M. U., Mehan, S., Sharma, R., Budkin, S., Kumar, S. N., Sahu, A., Kumar, M., & Vaibhav, K. (2022). Understanding Acquired Brain Injury : A Review. *Biomedicines*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10092167>

GREFEX. (s. d.). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. Evaluation en pratique clinique—GREFEX, Olivier Godefroy*.

Guigues, D. (2021). *Apports des albums de littérature jeunesse dans la construction de la structure logique élémentaire de sériation*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.

Hamers, J. F., & Blanc, M. (2000). *Bilinguality and bilingualism* (2nd ed). Cambridge University Press.

HAS. (2022). *AVC : Premières recommandations sur la rééducation à la phase chronique*. Haute Autorité de Santé. Site internet. [https://www.has-sante.fr/jcms/p\\_3344372/fr/avc-premier-recommandations-sur-la-reeducation-a-la-phase-chronique](https://www.has-sante.fr/jcms/p_3344372/fr/avc-premier-recommandations-sur-la-reeducation-a-la-phase-chronique)

Houdé, O. (2007). Le rôle positif de l'inhibition dans le développement cognitif de l'enfant. *Le Journal des psychologues*, 244(1), 40-42. <https://doi.org/10.3917/jdp.244.0040>

Houdé, O. (2014). *Le raisonnement*. (Presses Universitaires de France).

Houdé, O. (2018). *Le raisonnement*. Humensis.

Inhelder, B., & Piaget, J. (1959). *La Genèse des Structures Logiques Élémentaires : Classifications Et Sériations*. Delachaux & Niestlé.

Jacquin-Courtois, S. (2022). L'enjeu cognitif post AVC : Focus sur les troubles du langage et les troubles dysexécutifs. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 206(5), 604-611.

<https://doi.org/10.1016/j.banm.2022.04.013>

Jaulin-Mannoni. (1974). *L'apprentissage des sériations*.

- Joseph, J. E. (2004). Créativité linguistique, interprétation et contrôle de l'esprit selon Orwell et Chomsky. *Cahiers du Centre de Linguistique et des Sciences du Langage*, 17, Article 17.  
<https://doi.org/10.26034/la.cdclsl.2004.1597>
- 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.
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E., & von Aster, M. (2006). Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children : A functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-31>
- Lauverjat, F., Pennequin, V., & Fontaine, R. (2005). Vieillesse et raisonnement : Une approche multifactorielle. *L'Année psychologique*, 105(2), 225-247. <https://doi.org/10.3406/psy.2005.29693>
- Laval, V. (2019). Chapitre 2. La théorie de Jean Piaget (1896-1980). In *La psychologie du développement: Vol. 4e éd.* (p. 27-67). Dunod; Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/dunod.laval.2019.01.0027>
- Legeay, M.-P., Fischer, J.-P., Maeder, C., Mijeon, O., Chaudoye, L., Pingault-Ferrand, G., & Durand, V. (2013). *L'évaluation des troubles du raisonnement logique*.
- Legeay, M.-P., Morel, L., & Voye, M. (2013). Le bilan ERLA : Exploration du raisonnement et du langage associé. *Rééducation Orthophonique*, 255, 75-86.
- Luna, B., Marek, S., Larsen, B., Tervo-Clemmens, B., & Chahal, R. (2015). An Integrative Model of the Maturation of Cognitive Control. *Annual Review of Neuroscience*, 38(1), 151-170.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071714-034054>
- Marshall, S., Teasell, R., Bayona, N., Lippert, C., Chundamala, J., Villamere, J., Mackie, D., Cullen, N., & Bayley, M. (2007). Motor impairment rehabilitation post acquired brain injury. *Brain Injury*, 21(2), 133-160. <https://doi.org/10.1080/02699050701201383>
- Martin-Lanza, B. (2013). *L'opération de sériation : Étude auprès d'adolescents présentant des troubles logiques et tout-venant*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Nice.
- Masson, E. (s. d.). *Évolution du contrôle exécutif au cours du vieillissement normal*. Site internet.  
<https://www.em-consulte.com/article/902136/evolution-du-contrôle-exécutif-au-cours-du-vieilli>



- Mathilde Vincens, & 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 à la prise en soin des patients cérébrolésés*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.
- Mazaux, J. M., & Polczynska. (2008). Second language acquisition after traumatic brain injury : A case study. *Disability and Rehabilitation*, 30(18).
- Meisel, J. M. (1994). Code-Switching in Young Bilingual Children : The Acquisition of Grammatical Constraints. *Studies in Second Language Acquisition*, 16(4), 413-439.  
<https://doi.org/10.1017/S0272263100013449>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks : A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.  
<https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Pérez-Parra, J. E., & Restrepo-de-Mejia, F. (2023). The Trail Making Test (part B) is associated with working memory : A concurrent validity study. *Applied Neuropsychology*, 30.
- Piaget, J. (1954). Le langage et la pensée du point de vue génétique. *Acta Psychologica*, 10, 51-60.  
[https://doi.org/10.1016/0001-6918\(54\)90004-9](https://doi.org/10.1016/0001-6918(54)90004-9)
- Piaget, J. (1964). *Six études de psychologie* (Gonthier).
- Piaget, J. (1970). L'épistémologie génétique. *Presses universitaires de France*, 1399.
- Piaget, J., & Bronckart, J.-P. (1978). *La formation du symbole chez l'enfant. Imitation, jeu et rêve, image et représentation* (Delachaux et Niestlé).
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1968). Mémoire et Intelligence. *Presses Universitaires de France*, 487.
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1980). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- Retschitzki, J. (1978). *L'évolution des procédures de seriations : Étude génétique et simulation*. Médecine et Hygiène.
- Rudio, G. (2022). *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 de patients adultes cérébrolésés*. [Mémoire d'orthophonie]. Université de Strasbourg.

- Russell, J. (2000). Chapitre VIII. Développement cognitif et fonctions exécutives. « L'essentiel de Piaget ». In *L'esprit piagétien* (p. 149-189). Presses Universitaires de France.  
<https://doi.org/10.3917/puf.houde.2000.01.0149>
- Saussure, F. de (1857-1913) A. du texte. (1967). *Cours de linguistique générale; publié par Charles Bally et Albert Sechehaye, avec la collaboration de Albert Riedlinger*. (Payot).
- Stocchetti, N., Carbonara, M., Citerio, G., Ercole, A., Skrifvars, M. B., Smielewski, P., Zoerle, T., & Menon, D. K. (2017). Severe traumatic brain injury : Targeted management in the intensive care unit. *The Lancet Neurology*, 16(6), 452-464. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(17\)30118-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(17)30118-7)
- Touratier, C. (2012). Morphologie et morphématique : Analyse en morphèmes. In *Morphologie et morphématique : Analyse en morphèmes*. Presses universitaires de Provence.
- Veneziano, E. (2001). Langage et pensée. *Intellectica*, 33(2), 147-159.  
<https://doi.org/10.3406/intel.2001.1638>
- Voye, M., Frey, E., & Guérin, M. (2013). Epreuves de sériation : Analyse du fonctionnement de pensée et orientation thérapeutique en orthophonie. *Rééducation Orthophonique*, 255, 163-177.
- Wason, P. C. (1960). On the Failure to Eliminate Hypotheses in a Conceptual Task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(3), 129-140. <https://doi.org/10.1080/17470216008416717>
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24(2), 220-251. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90008-P](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90008-P)
- Zhang, X., Kedar, S., Lynn, M. J., Newman, N. J., & Biousse, V. (2006). Homonymous Hemianopia in Stroke. *Journal of Neuro-Ophthalmology*, 26(3), 180.  
<https://doi.org/10.1097/01.wno.0000235587.41040.39>

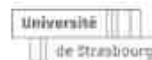
## Annexes

- **Annexe 1** : Formulaire d'information de participation au mémoire de fin d'études.
- **Annexe 2** : Formulaire de consentement à la participation au mémoire de fin d'études.
- **Annexe 3** : Trame des épreuves de sériation intercalaire et de correspondances sériales 1 & 2.
- **Annexe 4** : Proposition d'une grille de cotation inspirée des repères des auteurs de l'ERLA.
- **Annexe 5** : Proposition d'une grille d'analyse qualitative des conduites des sujets.
- **Annexe 6** : Tableau des scores sujets.
- **Annexe 7** : Résultats aux tests de Student via le site BioStatTGV.

## Annexe 1 : Formulaire d'information de participation au mémoire de fin d'études



Centre de Formation Universitaire  
en Orthophonie de Strasbourg



### **Recherche volontaires adultes (40- 85 ans) pour un mémoire d'orthophonie sur les capacités logico- mathématiques.**

Nous sommes Lucie FILLOT et Pauline KEMPF, étudiantes en orthophonie au Centre de Formation Universitaire en Orthophonie de Strasbourg. Dans le cadre de la validation de nos études, nous réalisons un mémoire sur les capacités logiques et mathématiques des adultes.

Les orthophonistes sont amenés à rééduquer les compétences logiques et mathématiques chez les enfants et les adultes.

Cependant, il n'existe à l'heure actuelle aucune évaluation précise de ces compétences pour les patients adultes. Ce manque de données sur les capacités de l'adulte sain rend difficile l'identification de difficultés logiques ou mathématiques chez un adulte ayant subi un AVC, un traumatisme crânien ou toute autre lésion cérébrale.

Pour notre mémoire, nous souhaitons donc proposer des épreuves logiques à des adultes sans pathologie : si nous savons comment ces personnes répondent aux épreuves, nous pouvons mieux évaluer et accompagner les patients ayant une lésion cérébrale.

#### **Conditions de participation :**

- avoir entre 40 et 85 ans,
- parler français (le bilinguisme n'est pas un problème),
- peu importe le niveau d'étude.
- peu importe le niveau en mathématiques.

#### **Déroulement :**

La passation des épreuves durera environ 45 minutes. Des enregistrements audio et vidéo (uniquement des manipulations réalisées et pas du visage) seront recueillis.

Pour les raisons citées plus haut, sachez que nous vous poserons des questions sur la présence ou non :

- d'une prise en charge orthophonique (pour troubles du langage suite à une lésion cérébrale ou logico-mathématiques),
- de troubles du langage écrit,
- d'antécédents neurologiques et psychiatriques.

Toutes les données recueillies resteront anonymes.

#### **Pour vous inscrire :**

Si vous êtes intéressés, vous pouvez nous contacter :

- Par téléphone au [REDACTED] ou au [REDACTED]
- Par e-mail à l'adresse : [memoireseriation@gmail.com](mailto:memoireseriation@gmail.com)

Merci à vous pour votre participation,

Lucie FILLOT et Pauline KEMPF

## Annexe 2 : Formulaire de consentement à la participation au mémoire de fin d'études



Centre de Formation Universitaire  
en Orthophonie de Strasbourg



### **FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DE PARTICIPATION A UNE ETUDE MENEÉE DANS LE CADRE D'UN MÉMOIRE D'ORTHOPHONIE.**

Je soussigné(e) .....(nom et prénom)  
accepte de participer à l'étude menée par Madame FILLOT Lucie et Madame KEMPF Pauline  
dans le cadre de leur mémoire de fin d'études réalisé au Centre de Formation Universitaire en  
Orthophonie (CFUO) de Strasbourg et encadré par Madame DENIS- FAERBER Caroline,  
orthophoniste et enseignante au CFUO de Strasbourg.

Cette étude a pour objectif d'investiguer le raisonnement logique de l'adulte sain entre 40 et 85  
ans, afin d'améliorer l'évaluation et la prise en soin orthophoniques de l'adulte cérébrolésé.

Je déclare avoir reçu les informations précisant l'ensemble des modalités de déroulement de  
cette étude :

- Le participant sera soumis à plusieurs épreuves différentes.
- Des enregistrements audio et vidéo des mains n'incluant pas le visage du participant seront  
recueillis. Seules Madame FILLOT Lucie et KEMPF Pauline pourront y avoir accès.
- Toutes les données recueillies au cours des épreuves seront anonymisées.
- Pour les raisons de l'étude, des questions concernant l'âge, le niveau d'études, les  
antécédents psychiatriques ou neurologiques du participant pourront lui être posées.
- L'évaluation ne nécessite aucune mesure invasive.
- Elle durera environ 45 minutes.
- Le participant peut choisir à tout moment de mettre fin à sa participation à l'étude et  
également demander la destruction des données le concernant.
- La participation ne fera l'objet d'aucune rémunération.

J'ai eu la possibilité de poser toutes mes questions et l'étudiante a répondu à toutes les  
questions posées.

J'ai disposé d'un délai de réflexion suffisant avant de pouvoir prendre ma décision.

J'ai la possibilité de demander les résultats généraux (et non individuels) de l'étude aux  
personnes responsables du mémoire après que ce dernier ait été évalué par le jury de soutenance.

Par la présente :

- J'autorise Madame FILLOT Lucie et Madame KEMPF Pauline à réaliser des  
enregistrements audio et vidéo lors de la passation des épreuves de l'étude.
- J'autorise l'utilisation de ces données sous leur forme enregistrée.
- Je prends acte que pour leur utilisation, les données enregistrées seront anonymisées.

Fait à : .....

Le : .....

Nom et Prénom du participant :

Nom et Prénom de l'étudiante :

Signature précédée de la mention  
« lu et approuvé » :

Signature précédée de la mention  
« lu et approuvé » :

## Annexe 3 : Trame des épreuves de sériation intercalaire et de correspondances sériales 1 & 2

### La sériation intercalaire- épreuve adaptée COGI'ACT.



**Age de passation :** à partir de 8 ans.

#### Matériel :

- Plaque sur laquelle est encadrée une série de 10 bâtonnets de même couleur (blanc) de taille décroissante.
- Série de 10 bâtonnets de même couleur (blanc), de taille différente s'intercalant dans la série de la plaque.

#### Objectifs :

Observer chez le patient :

- Sa capacité à anticiper la place des bâtonnets en les considérant du point de vue de la relation asymétrique.
- Sa capacité à signifier cette relation entre 2 éléments d'une part et toute même relation entre un élément et tous les autres.

#### Consignes :

##### • ITEM 1 :

Bâtonnets bien hors de la vue du patient.

Poser la plaque devant le patient et lui demander :

« Qu'est-ce que tu vois ? Qu'est-ce que tu peux en dire ? »

Puis lui donner le bâtonnet n°9 (le 1 étant le plus grand) et lui dire :

« Vois un autre bâtonnet, si un devait le mettre avec les autres, où faudrait-il le poser pour qu'il soit bien arrangé ? Pour que tout soit bien arrangé ? Pose-le. »

Noter ses essais puis lui demander :

« Pourquoi il va bien là ? »

Puis lui donner successivement les bâtonnets : 8 – 7 – 6 – 5.

Noter les essais et les ajustements éventuels et lui demander :

« Pourquoi il va bien là ? »

Si le patient n'éprouve pas trop de difficultés, lui donner les derniers en vrai.

Si on procède un à un dans l'ordre suivant : 6 – 4 – 7 – 10 – 8.

Quand tout est good, lui demander :

« Comment tu sais que ça doit être posé comme ça ? »

Si les bâtonnets sont tous accés du même côté aux autres bâtonnets, les décaler pour les accoler de l'autre côté et lui demander :

« Et comme cela, est-ce que ça va toujours bien ? »

Puis, les mettre au milieu et reposer la question :

« Et comme cela, est-ce que ça va toujours bien ? »

##### • ITEM 2 :

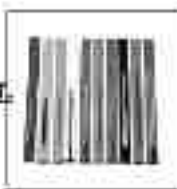
Pointer un élément de la série (les 10 bâtonnets) (le 3), et lui demander :

« Qu'est-ce que tu peux dire de celui-là par rapport à TOUS les autres ? »

Puis pointer 3 ou 4 autres bâtonnets en choisissant des éléments à différents endroits de la série, y compris aux extrêmes : 10 – 9 – 7 – 5 et reposer la question à chaque bâtonnet :

« Qu'est-ce que tu peux dire de celui-là par rapport à TOUS les autres ? »

## Les correspondances sériales 1- épreuve adaptée COG'ACT.



Age de passation : à partir de 10 ans.

### Matériel :

- 10 baguettes de couleurs différentes sérialisées selon leur longueur.
- 10 fentes en appariement de taille avec chacune des baguettes.

### 2<sup>ème</sup> partie.

### Objectifs :

Observer chez le patient :

- Sa capacité à établir des relations asymétriques entre les éléments dans une situation sérielle.
- Sa capacité à faire les liens entre l'aspect ordinal et l'aspect cardinal du nombre.

### Consignes :

• (TS1a1) :

Donner en vrac au patient les baguettes et les fentes. Lui demander :  
« Qu'est-ce que tu vois ? Qu'est-ce que tu peux dire de tout cela ? »

Faire une démonstration au patient :

« Les baguettes vont passer comme ça et on faisait passer une baguette horizontalement dans la fente. »

• (TS1a2) :

Laisser en vrac les baguettes et les fentes devant lui et lui demander :  
« Arrange-toi pour que chaque fente ait une baguette, que chaque baguette puisse passer par une fente.  
(Noter les démarches du patient, l'organisation sur le bureau et la verbalisation spontanée du patient. S'il n'arrive pas à faire les appariements, on ne poursuit pas l'épreuve.)

• (TS1a3) : Une fente pour toutes les baguettes.

Ses fentes sont rangées de manière aléatoire (le pas dans l'ordre) sur la table et les baguettes sont en vrac. Demander au patient :  
« Tu vas choisir une fente dans laquelle toutes les baguettes pourront passer. Pense après l'autre, toujours horizontalement.  
Est-ce que tu peux me dire comment elle doit être, cette fente, pour que toutes les baguettes puissent passer ? »

Récupérer les pièces. Si le patient s'est arrêté à un moment, lui proposer la fente noire et lui demander s'il pense que ça ira.  
Puis le laisser agir et noter ses conduites.

Quand il l'a trouvée, lui demander la justification du choix :

« Comment tu es sûr que c'est celle-là ?

Est-ce qu'il pourrait y en avoir une autre ? »

Si le patient en montre une autre, lui demander comment il l'appellerait.

Si cette situation n'est pas réussie, ne pas faire l'item 4 et passer à la 2<sup>ème</sup> partie.

• (TS1a4) : Une fente pour toutes les baguettes.

« Tu vas choisir une fente dans laquelle pourront passer 3 baguettes, seulement 3, pas 4, pas 2. »

Avant qu'il ne le fasse, lui demander :

« Est-ce que tu peux déjà savoir laquelle ? »

Quand il l'a trouvée :

« Qu'est-ce que tu peux dire de ces 3 baguettes ? » et « Qu'est-ce que tu peux dire de celles-là ? » (en montrant les autres baguettes).

On attend la verbalisation d'un regroupement et d'une quantité.

Puis demander :

« Tu vas maintenant choisir une fente dans laquelle pourront passer 5 baguettes, seulement 5, pas 6, pas 4. »

Ceci permet d'observer comment le patient se sert de son expérience précédente.

### 3<sup>ème</sup> partie.

### Objectifs :

Observer chez le patient :

- Sa capacité à faire des inférences en tenant compte de l'asymétrie.

### Consignes :

Poser devant le patient 2 fentes : la fente verte et la fente orange.

« Je vais te demander de choisir les baguettes qui correspondent à mes consignes. »  
On le laisse essayer mais on note ses actions.

On demande à chaque fois au patient : « Comment peux-tu parler des baguettes ? »

1. « Quelles sont toutes les baguettes qui peuvent par la fente verte aller dans la fente orange ? » (TS1a1a1)
2. « Quelles sont toutes les baguettes qui ne passent ni par la fente verte et ni par la fente orange ? » (TS1a1a2)
3. « Quelles sont toutes les baguettes qui peuvent aller dans la fente orange mais pas par la fente verte ? » (TS1a1a3)
4. « Quelles sont toutes les baguettes qui peuvent par la fente verte aller mais pas par la fente orange ? » (TS1a1a4)



Les correspondances sériales 2- épreuve adaptée COGFACT.

Age de passation : à partir de 12 ans.

Matériel :

- 10 baguettes de couleurs différentes sérialisées selon leur longueur.
- 10 fentes en espacement de taille avec dix une des baguettes.
- Pinceaux échantillons à découper

Objectifs :

Classer chez le patient :

- Sa capacité à établir des inférences dans le cadre d'une relation asymétrique.
- Sa capacité à argumenter le résultat d'inférences (si/ que/ si/ que non, peut-être).
- Sa capacité à juger d'une inférence proposée.

Contenus :

1<sup>er</sup> quart : travail sur des données permissives.

Chez le patient, les baguettes et la case devant lui les fentes.

- ITEM 1 : Introduction de « Je suis sûr que oui et Post-test ».

Dire :

« Je prends une baguette, je ne te dis pas sa couleur mais je te dis qu'elle peut passer dans la fente orange. Que peux-tu me dire ? Que peux-tu en déduire ? »

Réponses double alternatives :

- Je suis sûr qu'elle passe dans celles qui sont plus grandes que la fente orange (réponses en compréhension) ; je suis sûr qu'elle passe dans la fente claire, dans le noir, dans le rouge et dans le vert foncé (réponses en inférence).
- Je ne sais pas, ou on ne peut pas savoir comme ça, parce qu'elle passe peut-être dans les fentes qui sont plus petites que la fente orange.

Procédure d'aide :

Si le patient ne propose pas de réponse pour les plus petites, lui demander :

« Que peux-tu dire pour les autres ? »

Si le patient propose une réponse erronée (justifiée par « ça passe ou non »), le questionner :

« Comment tu en es sûr ? Comment tu le sais ? »

Quelles que soient ses réponses, lui proposer le même questionnement avec la fente noire :

« Je prends une baguette, je ne te dis pas sa couleur mais je te dis qu'elle peut passer dans la fente noire. Que peux-tu me dire ? Que peux-tu en déduire ? »

Dire :

« Je prends une baguette, je ne te dis pas sa couleur mais je te dis qu'elle ne peut pas passer dans la fente bleu clair. Que peux-tu me dire, que peux-tu en déduire ? » (prendre la précaution de noter : « elle ne peut pas passer » et/ ou d'insister sur ce groupe verbal).

Réponses double alternatives :

- Je suis sûr qu'elle ne passe pas dans celles qui sont plus petites que la fente bleu clair.
- Je ne sais pas si elle ne peut pas passer comme ça, parce qu'elle passe peut-être dans les fentes qui sont plus grandes que la fente bleu clair mais de toute façon/ forcément/ en tout cas elle passe dans le vert foncé.

Mêmes procédures d'aide que pour l'ITEM 1.

Et à la fin de cas 2 items, ne pas poursuivre l'épreuve.

4. ITEM 3 : COORDINATION.

A. On prend les étiquettes, on pose devant le patient l'étiquette « la baguette passe dans la fente blanche » et on place à droite de cette étiquette d'autres étiquettes dans l'ordre ci-dessous et on demande à chaque fois :

« Qu'en penses-tu, es-tu d'accord ? »

- Alors elle passe dans la fente bleu clair (réponse vraie) ;
- Alors elle passe dans la fente jaune (réponse : on ne peut pas savoir) ;
- Alors elle ne passe pas dans la fente noire (réponse fausse) ;
- Alors elle ne passe pas dans la fente bleu foncé (réponse : on ne peut pas savoir) ;
- Alors on ne sait pas si elle passe dans la fente jaune (réponse vraie) ;
- Alors on ne sait pas si elle passe dans la fente rouge (réponse fausse) ;

B. On présente le couple d'étiquettes :

« la baguette ..... » et « alors elle passe dans la fente jaune. » et demander :

« Qu'est-ce qu'on doit sur la première étiquette pour que la déduction soit vraie ? »

Puis on remplace la deuxième étiquette par une le couple :

« la baguette ..... » et « alors elle ne passe pas dans la fente noire. » et demander :

« Qu'est-ce qu'on doit sur la première étiquette pour que la déduction soit vraie ? »

Puis on remplace la deuxième étiquette par une le couple :

« la baguette ..... » et « alors on ne sait pas si elle passe dans la fente rouge. » et demander :

« Qu'est-ce qu'on doit sur la première étiquette pour que la déduction soit vraie ? »

2<sup>ème</sup> quart : travail sur les données restrictives.

Préparer tout le matériel de la vue du patient.

4. ITEM 4 : COORDINATION.

« On imagine qu'on prend 2 nouvelles fentes, une rose et une marron, on sait que la fente rose est plus petite que la fente marron. »

Puis l'étiquette correspondante et la laisse à la vue du patient.

En se en propositions alternatives :

- « Si je prends une baguette et qu'elle passe dans la fente rose, que peux-tu dire par rapport à la fente marron ? »
- « Si je prends une baguette et qu'elle ne passe pas dans la fente rose, que peux-tu déduire par rapport à la fente marron ? »
- « Si je prends une baguette et qu'elle passe dans la fente marron, que peux-tu déduire par rapport à la fente rose ? »
- « Si je prends une baguette et qu'elle ne passe pas dans la fente marron, que peux-tu déduire par rapport à la fente rose ? »



Annexe 4 : Proposition d'une grille de cotation inspirée des repères des auteurs de l'ERLA

Niveaux	Critères	Scores
Niveau 0	Échec aux épreuves	/1
Niveau 3A	Rétroaction	/1
	Anticipation	/1
	Insertion de baguettes en tenant compte de la relation asymétrique	/1
	Capacité à coordonner la compréhension et l'extension de la série	/1
	Les termes définissant les groupes concernés sont employés avec coordination « il est plus grand que tout ceux-là et plus petit que ceux-là »	/1
	Il justifie par la relation d'ordre (croissant/décroissant)	/1
	<b>Total :</b>	<b>/6</b>
Niveau 3B	Relation asymétrique dans la double sériation	/1
	Faire des liens entre les aspects cardinal et ordinal (la 3 <sup>ème</sup> fente, on y passe ces 3 baguettes)	/1
	Inférer sur du matériel visible	/1
	Inférer des hypothèses en certitude (hypothèse qui induisent des réponses positives ou négatives)	/1
	<b>Total :</b>	<b>/4</b>
Niveau 3C	Inférer sur du matériel caché/non visible	/1
	Inférer des hypothèses en « peut-être »	/1
	<b>Total :</b>	<b>/2</b>

**Annexe 5 : Proposition d'une grille d'analyse qualitative des conduites des sujets**

**Analyse Manipulation :**

- Anticipation de la place des baguettes selon leur taille	/1
- Rétroaction	/1
- Intercaler les baguettes en prenant en compte la relation asymétrique	/1
- Respecter la base commune	/1
<b>TOTAL</b>	<b>/4</b>

**Analyse Verbale-Expression**

- Les termes définissant les groupes concernés sont employés avec coordination « il est plus grand que tout ceux-là et plus petit que ceux-là »	/1
- Justifier par la relation d'ordre (croissant/décroissant)	/1
- Capacité à coordonner la compréhension et l'extension de la série (dans les correspondances sériales 2 <sup>ème</sup> partie item 1)	/1
- Exprimer des hypothèses en certitude	/1
- Exprimer des hypothèses en « peut-être »	/1
<b>TOTAL</b>	<b>/5</b>

**Analyse Verbale-Compréhension**

- Relations de transitivité (« plus grand que ... et plus grand que ... » / « plus petit que ... et plus petit que ... »)	/1
- Relations de coordination (« plus grand que ... et plus petit que ... »)	/1
- Relations de négation (« ni plus grand que ... ni plus grand que ... » / « ni plus petit que ... ni plus petit que ... »)	/1
- Résistance à la phrase absurde	/1
- Répondre à des hypothèses en certitude	/1
- Répondre à des hypothèses en « peut-être »	/1
<b>TOTAL</b>	<b>/6</b>

**Score total : /15**

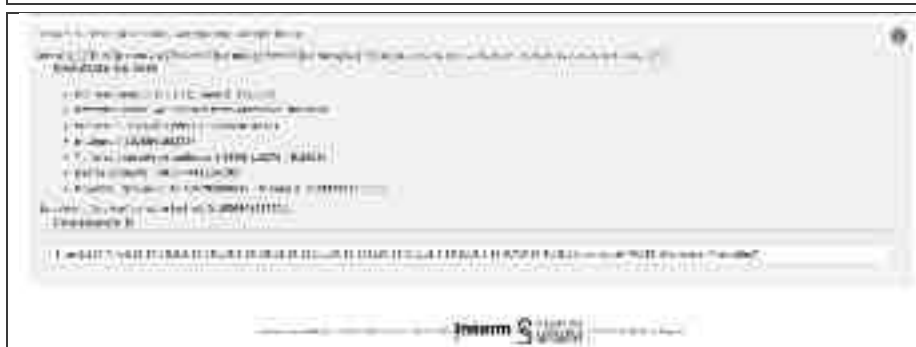
## Annexe 6 : Tableau des scores sujets

Patient	age	niveau	Stroop	TMT	bilingue	sexe	NSC	Manipulation	Expression	Compréhension	Score sur 15
S1	C1	N0	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	3	3	10
S2	C2	N3C	IF2	TMT2	OUI	H	NSC1	4	5	6	15
S3	C2	N0	IF2	TMT2	OUI	H	NSC1	3	0	0	3
S4	C3	N0	IF1	TMT1	OUI	F	NSC1	0	0	0	0
S5	C1	N0	IF2	TMT1	OUI	H	NSC1	4	1	2	7
S6	C1	N0	IF1	TMT1	OUI	H	NSC1	4	0	0	4
S7	C2	N0	IF2	TMT2	OUI	F	NSC1	4	1	2	7
S8	C1	N0	IF1	TMT1	OUI	F	NSC1	4	0	0	4
S9	C1	N3C	IF2	TMT3	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S10	C2	N0	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	2	2	8
S11	C1	N3C	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S12	C1	N3C	IF3	TMT3	OUI	H	NSC1	4	5	6	15
S13	C2	N3C	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S14	C3	N3C	IF2	TMT3	OUI	H	NSC2	4	5	6	15
S15	C2	N3C	IF3	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S16	C3	N0	IF3	TMT2	OUI	F	NSC1	2	0	1	3
S17	C1	N0	IF2	TMT2	OUI	H	NSC2	4	1	1	6
S18	C3	N3A	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	4	3	11
S19	C3	N0	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	2	3	9
S20	C1	N0	IF1	TMT2	OUI	F	NSC1	2	0	0	2
S21	C2	N0	IF2	TMT2	OUI	F	NSC1	4	1	4	9
S22	C1	N3C	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S23	C3	N0	IF1	TMT1	OUI	F	NSC1	4	1	0	5
S24	C3	N3C	IF2	TMT2	OUI	F	NSC1	4	5	6	15
S25	C2	N0	IF2	TMT2	OUI	H	NSC2	3	0	3	6
S26	C2	N3C	IF1	TMT2	OUI	H	NSC1	4	5	6	15
S27	C1	N3C	IF2	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S28	C2	N0	IF3	TMT2	OUI	F	NSC1	4	1	2	7
S29	C2	N3C	IF3	TMT2	OUI	H	NSC2	4	5	6	15
S30	C3	N0	IF1	TMT2	OUI	F	NSC2	0	0	0	0
S31	C1	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC1	0	1	0	1
S32	C3	N3C	IF3	TMT2	OUI	F	NSC2	4	5	6	15
S33	C1	N0	IF3	TMT2	OUI	F	NSC1	4	1	4	9
S34	C3	N0	IF3	TMT2	OUI	F	NSC1	0	1	0	1
S35	C2	N0	IF1	TMT2	OUI	H	NSC2	4	1	4	9
S36	C2	N0	IF3	TMT3	NON	H	NSC1	4	2	6	12
S37	C2	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	3	2	4	9
S38	C1	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	2	3	9
S39	C2	N0	IF3	TMT3	NON	F	NSC1	4	2	4	10
S40	C3	N0	IF2	TMT3	NON	F	NSC1	3	2	6	11
S41	C3	N0	IF1	TMT1	NON	F	NSC1	3	1	5	9
S42	C3	N0	IF2	TMT2	OUI	H	NSC1	4	2	1	7
S43	C1	N3C	IF1	TMT2	NON	F	NSC2	4	5	6	15
S44	C1	N3C	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	5	6	15
S45	C3	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	2	1	1	4
S46	C1	N0	IF3	TMT2	NON	F	NSC1	4	4	4	12
S47	C2	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC1	3	1	3	7
S48	C1	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC1	4	2	6	12
S49	C1	N3B	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	4	4	12
S50	C3	N3C	IF3	TMT3	NON	H	NSC2	4	5	6	15
S51	C2	N0	IF3	TMT3	OUI	H	NSC1	2	2	3	7
S52	C3	N0	IF2	TMT2	NON	H	NSC2	4	2	3	9
S53	C1	N0	IF3	TMT2	NON	F	NSC2	4	1	6	11
S54	C2	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	2	1	5	8
S55	C2	N0	IF3	TMT3	NON	H	NSC1	3	2	5	10
S56	C2	N0	IF2	TMT3	NON	H	NSC1	4	3	4	11
S57	C3	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	2	4	10
S58	C1	N0	IF3	TMT2	NON	H	NSC2	4	1	5	10
S59	C2	N0	IF3	TMT3	NON	F	NSC1	3	2	5	10
S60	C2	N0	IF2	TMT2	NON	H	NSC2	3	3	5	11
S61	C1	N3C	IF3	TMT3	NON	F	NSC1	4	5	6	15
S62	C2	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	2	6	12
S63	C2	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC2	4	3	6	13
S64	C3	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC1	4	3	4	11
S65	C1	N0	IF2	TMT2	NON	F	NSC1	4	2	5	11

Annexe 7 : Résultats aux tests de Student via le site BioStatTGV



Test de Student via le site BioStatTGV : score de sériation en fonction du score du TMT



Test de Student via le site BioStatTGV : score de sériation en fonction de l'âge



Test de Student via le site BioStatTGV : score de sériation en fonction du score d'inhibition



Test de Student via le site BioStatTGV : score de sériation en fonction du bilinguisme



**Exploration de la structure logique de sériation auprès d'une population d'adultes sains : élaboration d'une base de données utile à l'évaluation et à la prise en soin orthophonique des adultes cérébrolésés.**

Lucie FILLIOT

Fabian KEMPF

Année universitaire 2022/2023

**RÉSUMÉ**

Résumant, des études ont mis en évidence la présence de troubles du raisonnement logique caractérisés par un retard à la pensée pré-opérationnelle chez des adultes cérébrolésés (Gentile-Gronni & Vaillandier, 2013).

La rééducation des structures logico-mathématiques étant relativement récente en orthophonie, il existe peu de batteries évaluant ces compétences chez l'enfant et l'adolescent, tandis qu'il n'en existe aucune chez l'adulte. Pourtant, plusieurs études récentes montrent l'importance de ces structures vis-à-vis du langage (Cavié, 2014 ; Altmeyer, 2018 ; Brylinski & Delhomme, 2018), surtout de leur évaluation et leur prise en soin au xx<sup>e</sup> non négligeable de la rééducation des patients présentant une lésion cérébrale acquise.

Partant de ce constat, et en nous inspirant dans la continuité des mémoires de Vincent & Casanova (2020) et de Rudko (2022) nous avons proposé des épreuves de sériation issues de la batterie ERLA à 65 adultes sains dans l'objectif d'établir une base de données des résultats moyens des adultes en sériation, ces résultats permettant une meilleure appréciation des difficultés relevées chez des patients cérébrolésés. Les résultats de notre mémoire montrent que seuls 26,2% des adultes sains de notre étude ont opéré correctement à ce que l'on pourrait attendre d'après la littérature.

L'âge des sujets et leurs compétences en inhibition ne permettent pas d'expliquer ces résultats, cependant un lien entre compétences en flexibilité mentale et compétences en sériation semble exister.

Ainsi, plus que la dichotomie "opération-opérant", c'est l'analyse qualitative des conduites qui doit intéresser l'orthophoniste pour l'élaboration d'un plan thérapeutique adapté aux besoins du patient.

**Mots clés :** structures logico-mathématiques – sériation – troubles du raisonnement logique – orthophonie – lésion cérébrale – fonctions exécutives – inhibition – flexibilité mentale – âge – ERLA – pensée pré-opérationnelle – bilan – rééducation – base de données

**ABSTRACT**

The presence of logical reasoning disorders characterized by preoperational thinking in brain-injured adults have been recently shown by some studies (Gentile-Gronni & Vaillandier, 2013).

Rehabilitation of logical-mathematical reasoning is relatively new in speech and language therapy, opening there is a limited number of test batteries evaluating these abilities. Few for children and teenagers, and none for adults. Yet recent studies show how important these abilities are in regard to language (Cavié, 2014 ; Altmeyer, 2018 ; Brylinski & Delhomme, 2018), which makes it a significant part of the rehabilitation of patients with acquired brain injury. Following this statement and the works of Vincent & Casanova (2020) and Rudko (2022), we submitted 65 healthy adults to a series of seriation tests from the ERLA test battery, in order to create a database of average adults' results, which could be used to better assess the difficulties of brain-injured patients.

According to our results, the ability to fully master seriation is only present in 26.2% of the average adults from our study, contrary to what we might expect according to available literature.

The age of our subjects and their inhibition abilities can't seem to explain those results, however it seems that there is a link between mental flexibility and logical-mathematical reasoning.

Thus, more than relying on the binary view of mastering seriation or not, speech therapists should focus on the qualitative analysis of the strategies used by their patients, in order to create an individual and specific treatment plan.

**Key words :** logical-mathematical reasoning – seriation – logical reasoning disorder – speech and language therapy – brain injury – executive functions – inhibition – mental flexibility – age – ERLA – preoperational thinking – assessment – rehabilitation – database