



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



Université Claude Bernard Lyon 1  
Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation  
Département Orthophonie

---

**N° de mémoire 2141**

Mémoire d'Orthophonie  
présenté pour l'obtention du  
**Certificat de capacité d'orthophoniste**

Par

**BOULOUIS Juliette**

**Investigation du raisonnement chez trois enfants sourdes  
bi-implantées cochléaires précoces**

Directrice de Mémoire

**CHARRET Aline**

Année académique

**2020-2021**

**Institut Sciences et Techniques de Réadaptation DEPARTEMENT ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR

**Xavier PERROT**

**Équipe de direction du département d'orthophonie :**

Directeur de la formation

**Agnès BO**

Coordinateur de cycle 1

**Claire GENTIL**

Coordinateur de cycle 2

**Solveig CHAPUIS**

Responsables de l'enseignement clinique

**Claire GENTIL**

**Ségolène CHOPARD**

**Johanne BOUQUAND**

Responsables des travaux de recherche

**Mélanie CANAULT**

**Floriane DELPHIN-COMBE**

**Claire GENTIL**

Responsable de la formation continue

**Johanne BOUQUAND**

Responsable du pôle scolarité

**Rachel BOUTARD**

Secrétariat de scolarité

**Anaïs BARTEVIAN**

**Constance DOREAU KNINDICK**

**Céline MOULART**

## **1. UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1**

Président  
**Pr. FLEURY Frédéric**

Vice-président CFVU  
**Pr. CHEVALIER Philippe**

Vice-président CA  
**Pr. REVEL Didier**

Vice-président CS  
**M. VALLEE Fabrice**

Directeur Général des Services  
**M. VERHAEGHE Damien**

### **1.1. Secteur Santé**

U.F.R. de Médecine Lyon Est  
Doyen **Pr. RODE Gilles**

Institut des Sciences Pharmaceutiques  
et Biologiques  
Directrice **Pr. VINCIGUERRA Christine**

U.F.R de Médecine et de maïeutique  
- Lyon-Sud Charles Mérieux  
Doyenne **Pr. BURILLON Carole**

Institut des Sciences et Techniques  
de la Réadaptation (I.S.T.R.)  
Directeur **Dr. PERROT Xavier**

U.F.R d'Odontologie  
Directrice **Pr. SEUX Dominique**

Département de Formation et Centre  
de Recherche en Biologie Humaine  
Directrice **Pr. SCHOTT Anne-Marie**

### **1.2 Secteur Sciences et Technologie**

U.F.R. Faculté des Sciences  
Administrateur provisoire  
**M. ANDRIOLETTI Bruno**

Institut des Sciences Financières  
et d'Assurance (I.S.F.A.)  
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

U.F.R. Biosciences  
Administratrice provisoire  
**Mme GIESELER Kathrin**

Observatoire Astronomique de Lyon  
Directrice **Mme DANIEL Isabelle**

U.F.R. de Sciences et Techniques  
des Activités Physiques et Sportives  
(S.T.A.P.S.)  
Directeur **M. VANPOULLE Yannick**

Ecole Supérieure du Professorat  
et de l'Éducation (E.S.P.E.)  
Administrateur provisoire  
**M. Pierre CHAREYRON**

Institut National Supérieur du  
Professorat et de l'Éducation  
(INSPé)  
Directeur **M. CHAREYRON Pierre**

POLYTECH LYON  
Directeur **M. PERRIN Emmanuel**

Institut Universitaire de Technologie  
de Lyon 1 (I.U.T.LYON 1)  
Directeur **M. VITON Christophe**

## Résumé

La prise en soin orthophonique de l'enfant sourd met souvent l'accent sur le développement d'une langue audio-vocale, au détriment d'autres aspects. Cette étude s'est intéressée aux répercussions de la surdité sur l'un d'entre eux, le raisonnement. Elle a été réalisée auprès de trois enfants sourdes profondes. Leur niveau de développement langagier dans la moyenne, objectivé par des tests orthophoniques, a été atteint grâce à une bi-implantation cochléaire et un accompagnement pluridisciplinaire précoces ainsi qu'un environnement familial favorable. Il s'agissait de vérifier si un niveau de langue dans la moyenne s'accompagnait de compétences en raisonnement de même niveau, à travers l'étude des liens qui unissent ces deux domaines. Afin d'établir leur niveau en raisonnement, des épreuves sélectionnées, issues des tests orthophoniques ERLA et Examath 8-15, ont été administrées à ces trois enfants âgées de 10 ans. Les résultats ont montré qu'elles ont un niveau global similaire à leurs pairs normo-entendants, validant ainsi l'hypothèse de l'étude. Toutefois, de légères variations ont été notées dans certaines épreuves. D'une part, un temps de passation plus long que pour des enfants normo-entendants et une plus grande fatigabilité des enfants de l'étude ont suggéré une sollicitation majorée de la mémoire de travail. D'autre part, les hésitations relevées, la fragilité de certains arguments et l'absence de résistance aux leurres perceptifs ont pu être interprétées comme une faiblesse de l'inhibition. Ces observations corroborent les données théoriques selon lesquelles les enfants sourds implantés ont un fonctionnement cognitif particulier risquant de subsister même en présence d'un développement langagier harmonieux. Elles ne permettent cependant pas de déterminer le lieu précis du décalage, que les auteurs contemporains situent au niveau de l'acquisition de la structure elle-même ou de celui de la résistance à la perception (inhibition). Cette étude souligne l'importance d'un suivi pluridisciplinaire au long cours des enfants sourds implantés.

## Mots clés

raisonnement, surdité profonde, implant cochléaire, enfants, mémoire de travail, inhibition, orthophonie

## **Abstract**

Speech therapy among deaf children often places the emphasis on the development of an audio-vocal language, to the detriment of other aspects. This study focuses on the impact deafness has on one such aspect: logical reasoning. Three profoundly deaf children were evaluated. Thanks to early childhood bi-cochlear implants and multidisciplinary support, and a constructive family unit, each child has developed a language level within the norm. The goal of this study was to evaluate whether a language level within the norm accompanies the development of a similar level of reasoning, assessing the links between these two systems. The level of reasoning of these three children, age 10, was established using the ERLA and Examath 8-15 tests. The results show that they each have developed reasoning levels on par with their hearing peers, validating the study's initial hypothesis. However, small variations were noted in the execution of several tasks. First among them was the increased time needed to complete the tasks relative to hearing children and a tendency towards greater exhaustion levels. These suggest an increased load applied to the subjects' working memory. Secondly, the observed hesitancy, fragility in the face of certain tasks and the inability to correctly process complex visual challenges were interpreted as signs of weakened inhibition. These observations corroborate the findings of the literature suggesting that deaf children with implants have distinctive cognitive structures that may remain intact despite a harmonious language development. The study does not identify the precise point at which this issue creates the observed mental separation, which has been theorized by contemporary authors to occur at the acquisition of the structure itself, or at the development of perceptual inhibition. This study underlines the importance of a long-term multidisciplinary support for deaf children with cochlear implant.

## **Key words**

reasoning, profound deafness, cochlear implant, children, working memory, inhibition, speech and language therapy

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Mme Aline Charret pour avoir accepté de m'accompagner dans la réalisation de ce mémoire, mettant à ma disposition son matériel, son expérience et ses connaissances.

Merci également aux enfants et à leurs parents pour leur entrain, leur disponibilité et l'intérêt qu'ils ont montré pour mon étude. Merci à mes maîtresses de stage du SSEFS pour leur aide dans le recrutement des enfants et pour leurs conseils.

Merci aussi à Aymeric et Ysalis de s'être prêtés au jeu de la passation des tests.

Je tiens également à remercier les constructeurs des tests de m'avoir donné l'autorisation de les utiliser dans ce mémoire : Mesdames Lydie Morel, Martine Voye, Marie-Paule Legeay pour l'ERLA et Mesdames Anne Lafay et Marie-Christel Helloin pour Examath-8-15.

Un grand merci à Alexandre pour son aide précieuse dans la réalisation des figures araignées.

Enfin, un immense merci à mes proches, famille et amis, tous endurants dans leurs efforts pour me soutenir.

## Sommaire

<b>I Partie théorique</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Le raisonnement</b> .....	<b>1</b>
1.1 Qu'est-ce que le raisonnement ? .....	1
1.2 Pourquoi s'y intéresser ? .....	2
1.3 Quels sont les éléments essentiels à l'édification du raisonnement ?...3	
<b>2 Le raisonnement chez l'enfant sourd</b> .....	<b>5</b>
2.1 Les enfants sourds ont de moins bonnes capacités en raisonnement que leurs pairs entendants .....	5
2.2 Exploration des fondations du raisonnement chez l'enfant sourd .....	6
<b>3 Et chez l'enfant sourd bi-implanté précocement ?</b> .....	<b>8</b>
3.1 Implantation cochléaire bilatérale précoce et langage oral .....	8
3.2 Implantation cochléaire bilatérale précoce et mémoire de travail .....	9
3.3 Implantation cochléaire bilatérale précoce et raisonnement .....	10
<b>4 Problématique et hypothèse</b> .....	<b>11</b>
<b>II Méthode</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Population</b> .....	<b>11</b>
1.1 Recrutement .....	11
1.2 Description des trois participantes .....	12
<b>2 Matériel</b> .....	<b>13</b>
2.1 Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA) .....	13
2.2 Examath 8-15 .....	16
<b>3 Procédure</b> .....	<b>17</b>
3.1 Chronologie.....	17
3.2 Description de la passation des épreuves .....	17
<b>III Résultats</b> .....	<b>18</b>
<b>1 ERLA</b> .....	<b>18</b>
1.1 Épreuve 1 : Les changements de critères et les dichotomies.....	18
1.2 Épreuve 2 : Inclusion simple 1 (les fleurs).....	18
1.3 Épreuve 3 : Sériation intercalaire .....	19
1.4 Épreuve 4 : Expression et compréhension verbales des relations sérielles.....	20



1.5 Épreuve 5 : Conservation de la masse.....	21
1.6 Épreuve 6 : Conservation de la mesure des surfaces dans le cas de soustractions de surfaces partielles.....	21
1.7 Épreuve 7 : Problèmes arithmétiques : compréhension de situations additives.....	22
1.8 Épreuve 8 : Inférence complexe .....	22
<b>2 Examath 8-15 .....</b>	<b>22</b>
2.1 Module 5 : Résolution de problèmes arithmétiques à énoncé verbal ...	22
2.2 Module 6 : Langage et raisonnement .....	23
<b>3 Synthèse des résultats .....</b>	<b>24</b>
<b>IV Discussion.....</b>	<b>25</b>
<b>1 Re-contextualisation .....</b>	<b>25</b>
<b>2 Mise en lien avec les recherches antérieures .....</b>	<b>25</b>
2.1 Confrontation des résultats à l'hypothèse de départ.....	25
2.2 La surdit�� comme cause des variations observ��es .....	26
2.3 Autres explications possibles. ....	29
<b>3 Limites et perspectives .....</b>	<b>30</b>
3.1 Limites.....	30
3.2 Perspectives .....	31
<b>V Conclusion .....</b>	<b>31</b>
<b>VI R��f��rences.....</b>	<b>33</b>
<b>Annexes.....</b>	
<b>Annexe A : Figures repr��sentant les r��sultats des trois enfants aux ��preuves 1, 3, 4, 5 et 6 de l'ERLA.....</b>	
<b>Annexe B : Temps de passation par ��preuve.....</b>	

*C'est elle qui me disait à trois ans, quand je lui parlais du bon Dieu qui est dans le ciel :  
« C'est donc comme les oiseaux ; est-ce qu'il a un bec ? »  
Elle avait déjà du raisonnement.*

—Hippolyte Adolphe Taine, *Notes sur Paris*

## I Partie théorique

Le raisonnement est un processus cognitif complexe dont l'individu use quotidiennement. Il recouvre des notions telles que la formation de concepts, l'apprentissage implicite, la résolution de problème, etc. Il sert partiellement de base aux apprentissages ultérieurs (Nunes et al., 2007) et repose sur des fonctions cognitives de haut niveau telles que la mémoire de travail ou l'inhibition (Diamond, 2013). Mazeau (2017) écrit même qu'il est « le cœur des *opérations logiques* définies par J. Piaget comme supportant la construction du nombre *et* le cœur des opérations mentales qui caractérisent le niveau d'intelligence générale de l'enfant ». Grâce à ses interactions avec l'environnement, l'enfant élabore son raisonnement en même temps que son langage oral (Akçakaya et al., 2018 ; Dehaene, 2020). La surdité pouvant mettre à mal ce dernier se pose la question du raisonnement chez les enfants sourds.

En effet, malgré les succès dus à l'implant cochléaire pour les surdités sévères et profondes, la surdité reste une diminution de l'acuité auditive, entravant l'acquisition de la langue audio-vocale. Toutefois, sans être elle-même la cause d'un retard dans le développement cognitif général de ces enfants (Mayberry, 2002 ; Marschark, 2007), population par ailleurs très hétérogène, elle constitue un facteur de risque en la matière (Nunes & Moreno, 2002) : un retard des enfants sourds par rapport à leurs pairs normo-entendants est évoqué en raisonnement (Kritzer, 2009 ; Gottardis et al., 2011).

Peu d'études s'intéressent aux compétences en raisonnement d'enfants sourds ayant un niveau de langue dans la moyenne. L'objectif premier de cette étude est donc d'en faire état chez trois enfants bi-implantées cochléaires âgées de 10 ans. L'objectif secondaire est de participer à une meilleure définition de l'accompagnement des enfants sourds par les professionnels de santé, notamment orthophonistes, en soulignant l'intérêt d'une prise en soin globale et au long cours de ces enfants.

Après exposition des données de la littérature liant raisonnement et surdité, la méthode et les résultats aux épreuves proposées aux trois enfants sont présentés. Enfin, la discussion analyse le fonctionnement cognitif de ces enfants et propose une lecture des résultats au travers des données théoriques précédemment décrites.

### 1 Le raisonnement

#### 1.1 Qu'est-ce que le raisonnement ?

##### 1.1.1 *Système 1 et Système 2.*

La théorie du *dual-system* d'Evans (2003) décrit le raisonnement comme la résultante de l'activité de deux systèmes. Le Système 1 est intuitif et consiste en une

forme de cognition universelle partagée avec l'animal. Chez l'être humain, il régit les comportements instinctifs programmés de façon innée. Le Système 2 est logique et typiquement humain. Il est mis en œuvre lorsque la réponse du Système 1 n'est pas valide. Il permet la pensée hypothétique abstraite et nécessite des ressources suffisantes disponibles en mémoire de travail. Ce travail explore le Système 2.

### **1.1.2 Sur le Système 2.**

#### *1.1.2.1 Système 2 et pensée piagétienne.*

Piaget décrit les étapes traversées dans l'enfance pour parvenir à un raisonnement hypothético-déductif entre 12 et 16 ans. À cet âge, la pensée « se libère de ses attaches concrètes pour se situer sur un plan général et abstrait » (Piaget, 1954). Afin d'en arriver là, l'enfant manipule des objets, fait des expériences ; il doit agir pour comprendre. Les actions accomplies par l'enfant sur le matériel s'intègrent dans un contexte dans lequel une diversité d'actions se révèle possible, ainsi que leur annulation. À chaque contexte correspond un invariant, qui peut être un nombre, une longueur... Les enfants de 10 ans environ se trouvent au stade opératoire concret. Ils sont capables de réaliser l'opération mentale de réversibilité opératoire (Dolle, 1999).

#### *1.1.2.2 La preuve par imagerie (IRMf).*

En 2000, les expériences d'Houdé et al. en IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) montrent une différence d'activation cérébrale selon que la réponse émane du Système 1 ou du Système 2. À une tâche de déduction logique, en cas de biais perceptif, la partie cérébrale postérieure s'active (Système 1). La partie gauche préfrontale s'active lorsque la réponse est logique, suite à un entraînement à la résistance au biais (Système 2). Cette modification de lieu d'activation est un élément essentiel pour l'accès à la pensée logique pour l'humain.

En 2011, Houdé et al. exposent à la tâche de conservation de Piaget des enfants de 5-6 ans et des enfants de 9-10 ans. Chez ces derniers, l'IRMf montre l'activation d'un réseau bilatéral pariéto-frontal qui ne s'active pas chez les plus petits. Ces derniers restent intuitifs et s'attachent à l'aspect perceptif de l'information présentée, qu'ils ne jugent qu'à partir d'un seul point de vue : ils sont non conservants (Fayol, 2018). Ces résultats mettent en lumière que les étapes cognitives et comportementales formulées par Piaget requièrent l'activation conjointe de régions spécifiques du cerveau, notamment les lobes pariétal et préfrontal, formant le réseau neuronal de la mémoire de travail (Houdé et al., 2011).

## **1.2 Pourquoi s'y intéresser ?**

Le raisonnement joue un rôle primordial dans la vie quotidienne. En effet, son développement dans l'enfance aura un impact sur la qualité de vie sur le long terme, avec des conséquences cognitives, sociales et économiques (Castellanos et al., 2015 ; Cejas et al., 2018).

De plus, le rôle du raisonnement est également très important dans les apprentissages scolaires. Différentes études ont été menées pour essayer d'établir les liens existant entre raisonnement et mathématiques. Pour Nunes et al. (2007), l'acquisition des structures logiques permet le développement des compétences mathématiques : dans leur étude, les auteurs émettent l'hypothèse causale d'un lien entre raisonnement logique et savoir mathématique et démontrent les effets d'un enseignement formel de la compétence logique sur les apprentissages mathématiques. Les effets se maintiennent d'ailleurs sur le long terme. Morsanyi et al. (2013) trouvent un lien entre essor des habiletés mathématiques et capacités logiques : les enfants de 10 ans en réussite en mathématiques montreraient de meilleures performances en résolution de problèmes logiques concrets. Le raisonnement semble donc être, sinon la seule, du moins l'une des habiletés essentielles à la construction des apprentissages ultérieurs.

### **1.3 Quels sont les éléments essentiels à l'édification du raisonnement ?**

#### **1.3.1 La question controversée du langage.**

##### *1.3.1.1 Le point de vue constructiviste.*

Pour Piaget, la pensée précède le langage et ce dernier n'explique pas l'acquisition des opérations logiques. Ainsi le langage est-il « une condition nécessaire mais non suffisante pour la construction des opérations logiques » (Piaget, 1954). Dans les premiers stades décrits par Piaget, ce qui prime c'est le schème moteur qui permet d'expérimenter et d'explorer le monde. La manipulation des objets débouche à terme sur la création des structures de raisonnement. La constitution des invariants n'est alors en aucun cas dépendante du langage (Bartin, 1976).

Si l'absence de langage ne perturbe pas l'élaboration du raisonnement dans les premiers stades, la construction semble ensuite réciproque. Piaget reconnaît d'ailleurs que le langage permet l'expression de la pensée qui, sans lui, resterait prisonnière de l'individu. La possibilité d'échange social qu'offre le langage est primordiale pour l'élaboration de la pensée. Ce rôle deviendrait d'autant plus important au fur et à mesure que l'enfant grandit, au moment de l'achèvement des opérations formelles à

partir de 11 ans. Les échanges constants de pensées avec d'autres lui permettent de se décentrer et d'acquérir une vision plus abstraite, globale (Veneziano, 2001).

#### *1.3.1.2 Utilité du langage.*

Certains auteurs attribuent au langage un rôle indirect sur le développement du raisonnement (Bartin, 1976) : il agirait comme catalyseur. Dans une conférence au Collège de France, Dehaene (2020) évoque le langage comme « catalyseur de la création de liens entre objets mentaux dont il facilite l'acquisition ».

Castellanos et al. (2015) montrent que la connaissance des concepts est influencée par l'expérience du langage (celui des parents puis celui de l'école) : « le langage, avec l'expérience et le raisonnement, joue un rôle important dans la manière dont les enfants apprennent et forment les concepts ». Ainsi, la formation de concepts repose sur des expériences perceptives et sensorielles directes d'une part et des activités d'apprentissage formelles et sociales véhiculées par le langage d'autre part.

Une étude de 2018 menée par Akçakaya et al. révèle que les enfants implantés ayant de bonnes performances en mémoire de travail ont obtenu de meilleurs résultats en langage et ceux ayant de bons résultats en langage ont obtenu de meilleurs résultats aux tests de raisonnement. Cette étude soutient donc l'idée d'un effet critique du langage sur les compétences en raisonnement et établit une relation étroite entre langage, raisonnement et mémoire de travail.

#### **1.3.2 Les principales fonctions exécutives impliquées.**

La mémoire de travail constitue, avec l'inhibition, l'une des principales fonctions exécutives impliquées dans la construction du raisonnement (Marcelino et al., 2019).

Baddeley, théoricien avec Hitch de la mémoire de travail, indique qu'il s'agit de systèmes « dont on présume qu'ils sont nécessaires pour maintenir des informations en mémoire pendant la réalisation de tâches complexes telles que raisonnement, compréhension, et apprentissage » (Baddeley, 2010). L'un de ces systèmes, la boucle phonologique, stocke temporairement les informations verbales et acoustiques. Son atteinte entraîne donc un déficit en mémoire de travail. Dans un article intitulé à juste titre « Reasoning Ability Is (Little More Than) Working-Memory Capacity?!, » Kyllonen et Christal (1990) rapportent les résultats d'une expérience pendant laquelle ils ont notamment soumis les participants à des tâches de raisonnement et de mémoire de travail, obtenant in fine une forte corrélation entre les deux habiletés. Evans lui-même établit ce lien, car le Système 2 requiert la mémoire de travail. Il en déduit une variabilité interindividuelle dépendant de la capacité à raisonner (Evans, 2003).

La capacité à inhiber les données inutiles au profit de celles qui sont pertinentes est une fonction exécutive au cœur du système cognitif humain et son développement. Les conclusions d'une étude de Borst et al. (2012) du contrôle inhibiteur dans une tâche d'inclusion de classes soutiennent l'idée que le développement cognitif dépend de l'acquisition de connaissances d'une complexité croissante, mais aussi de la capacité de l'enfant à inhiber ce qu'il a préalablement appris : c'est le Système 3 décrit par Houdé (2018), ou l'inhibition du Système 1 au profit du Système 2.

Les compétences en raisonnement sont primordiales dans la vie de tous les jours et déterminent les apprentissages scolaires. Elles dépendent du langage et d'autres habiletés cognitives. La surdité ayant un impact sur ces deux domaines, comment le raisonnement se développe-t-il chez l'enfant sourd ?

## **2 Le raisonnement chez l'enfant sourd**

La surdité est une « déficience auditive, quelle que soit son origine et quelle que soit son importance [...] » (Brin-Henry et al., 2011, p. 343). Ce début de définition montre la difficulté de définir la surdité de manière univoque. Ce travail s'intéresse particulièrement aux enfants ayant une surdité bilatérale profonde (perte de plus de 90 dB des deux oreilles). Si la surdité en elle-même n'est pas la cause des difficultés en mathématiques des enfants sourds, elle doit être traitée comme un facteur de risque de développer un retard dans ce domaine (Nunes & Moreno, 2002). Étudier cet aspect dans le développement des enfants sourds est intéressant car ils diffèrent des enfants entendants dans plusieurs dimensions cognitives « susceptibles d'influencer les performances académiques » (Marschark, 2007). Établir ces différences permet de proposer des adaptations scolaires, thérapeutiques, etc.

### **2.1 Les enfants sourds ont de moins bonnes capacités en raisonnement que leurs pairs entendants**

#### **2.1.1 Études faisant état de ce retard.**

Nul consensus n'a été trouvé quant au moment auquel ce retard commencerait (Szücs, 2019), mais nombre d'études en font état (Zarfaty et al., 2004 ; Kritzer, 2009 ; Gottardis et al., 2011). Dans une revue de littérature, à la question « Les apprentissages mathématiques posent-ils problème aux enfants sourds ? La réponse, globalement, est, sans conteste, positive » (Roux, 2014).

Courtin évoque une « approche différente des problèmes, les sourds s'attachant aux détails, les entendants allant directement à des généralisations » (Courtin, 2002).

Il en déduit un niveau de conceptualisation différent. Cela n'est toutefois valable que si l'on utilise un mode de communication qui n'est pas pleinement accessible à l'enfant.

### ***2.1.2 Précautions à prendre pour l'analyse des résultats.***

Les études réalisées dans le passé sur cette question (années 1960) ne sont pas interprétables au regard des connaissances et exigences de la recherche actuelle. De même, il faut rester prudent dans l'analyse des résultats aux épreuves testant le raisonnement d'enfants sourds aujourd'hui. Roux (2014) évoque les précautions à prendre quant aux biais méthodologiques possibles dans ce type de recherche ; Courtin (2002) se demande si l'on teste le concept ou le développement langagier.

Il est important de rappeler que si la littérature fait état d'un retard global des enfants sourds en raisonnement, ils constituent toutefois une population très hétérogène et chaque individu doit être envisagé de façon multidimensionnelle.

## **2.2 Exploration des fondations du raisonnement chez l'enfant sourd**

### ***2.2.1 La question de la langue audio-vocale.***

Le raisonnement n'a pas besoin de la langue audio-vocale. La conclusion de l'article de Hall et al. est en corrélation avec la vision théorique selon laquelle l'apprentissage implicite est un aspect hautement résilient de la cognition humaine. Il s'agit de la capacité à glaner des connaissances de façon involontaire et qui se soustrait à toute explication (Hall et al., 2018). En effet, dans cet article, ils infirment la théorie de l'hypothèse de l'échafaudage du langage de Conway et al. (2009) selon laquelle, chez les enfants sourds, les capacités d'apprentissage séquentiel implicite dépendent de la stimulation auditive. Dans l'étude de Hall et al., les trois groupes d'enfants (entendants, sourds signants et sourds implantés cochléaires précoces) démontrent des capacités d'apprentissage implicite.

Cette idée est d'ailleurs renforcée par les résultats d'études portant sur des enfants sourds signants sans déficit en raisonnement. Leybaert et van Cutsem (2002) étudient les influences possibles de la modalité langagière (Langue des Signes Française (LSF) ou langue audio-vocale) sur certaines compétences mathématiques : les résultats des deux groupes sont similaires.

Si la langue audio-vocale n'est pas obligatoire, la maîtrise d'une langue en tant que système langagier complexe (lexique, morphosyntaxe, etc.) reste essentielle. Or près de 95% des enfants sourds naissent de parents entendants (Mitchell & Karchmer, 2004) qui font le choix d'un projet linguistique audio-vocal pour leur enfant. Chez ces



enfants se pose donc la question de l'influence de l'acquisition d'une langue audio-vocale dans la construction du raisonnement.

### **2.2.2 Langue audio-vocale et raisonnement chez l'enfant sourd.**

De nombreux auteurs évoquent le frein causé par la surdité sur l'acquisition des *apprentissages fortuits*. Ces connaissances acquises par simple exposition aux sons de l'environnement, Jacobs et al. (2016) les décrivent comme les apprentissages « réalisés de façon non intentionnelle ou planifiée dans des contextes formels ou informels et les situations sociales quotidiennes ». Le consensus parmi les auteurs est général quant à leur rôle dans l'acquisition de certains concepts fondateurs de la logique. Kritzer (2012) invoque même un déficit en apprentissages fortuits comme cause des capacités déficitaires des enfants sourds en catégorisation et classification. Les premiers pourvoyeurs sont les parents, via l'exposition quotidienne à un environnement sonore (Leybaert & van Cutsem 2002) ou des activités numériques informelles lors desquelles l'apprentissage de capacités mathématiques n'est pas le but de l'activité (Skwarchuk et al., 2014). Ce déficit expérientiel chez l'enfant sourd entrave le développement des concepts mathématiques (Swanwick et al., 2005).

De plus, l'influence entre raisonnement et langage semble réciproque. Huber et Kipman (2012) évoquent un entraînement simultané : les enfants utilisent des stratégies de raisonnement inductif pour acquérir les règles linguistiques générales.

Ainsi l'exposition à une langue audio-vocale joue-t-elle un rôle non négligeable dans l'acquisition de certains concepts fondamentaux dont la maîtrise se répercute ensuite sur les compétences en raisonnement. Qu'en est-il des fonctions exécutives impliquées dans le raisonnement chez l'enfant sourd ?

### **2.2.3 Les fonctions exécutives de l'enfant sourd.**

Il n'est pas aisé de dissocier mémoire de travail et langage. Marshall et al. (2015) ont soumis différents groupes d'enfants à des tâches de langage et de mémoire de travail non verbale. Leur étude montre que les enfants entendants et sourds signants natifs obtiennent des résultats significativement supérieurs à ceux des enfants sourds communiquant oralement. Ce n'est pas la surdité en elle-même, mais l'expérience langagière qui a des répercussions sur l'installation des compétences cognitives. En effet, une audition subnormale crée une plus grande demande en traitement cognitif pour récupérer l'information perdue et induit, pour compenser, une utilisation décuplée de la mémoire de travail dans la vie de tous les jours (Zekveld, 2007).

Dans une tentative pour isoler la mémoire de travail de ses interactions avec le langage, d'autres auteurs ont soumis des groupes d'enfants à une tâche de mémoire de travail proposée en modalités auditive et visuelle afin d'éliminer la composante d'audition et de production de parole. Les enfants sourds ont obtenu de moins bons résultats dans les deux modalités. Ces résultats suggèrent que ces difficultés de mémoire sont expliquées par des mécanismes cognitifs sous-jacents, plutôt que par l'entrave auditive ou de production de parole (AuBuchon et al., 2015).

En termes d'inhibition, les étudiants sourds montrent également de moins bonnes performances que les étudiants entendants (Marcelino et al., 2019). Ces résultats sont obtenus par une autre étude, qui ajoute la concentration à l'inhibition : les concepts sont enseignés via le langage oral, exécutés grâce à l'inhibition et la concentration et maintenus en mémoire à long terme pour être retrouvés et ce sont justement ces domaines spécifiques du fonctionnement neurocognitif qui sont mis en péril chez les enfants sourds (Castellanos et al., 2015).

### **3 Et chez l'enfant sourd bi-implanté précocement ?**

« L'intérêt théorique d'une implantation bilatérale est de réhabiliter la fonction d'audition binaurale, ce qui facilite la compréhension de la parole dans le bruit et permet la localisation des sons » (Loundon, 2014). En découlent de meilleurs scores d'intelligence verbale (Jacobs et al., 2016), un langage oral expressif et réceptif dans la norme (Wie, 2010), un vocabulaire plus riche et une plus grande complexité syntaxique (Cuda et al., 2014).

L'implant cochléaire est proposé aux enfants ayant une surdité sévère à profonde après réponse inadéquate des aides auditives. Les bénéfices de l'implant sont variables d'un individu à l'autre, influencés par de nombreux éléments (données socio-économiques, âge et durée d'utilisation de l'implant, etc.). Alliée à l'accompagnement par des orthophonistes dans la découverte des sons de l'environnement et de la parole, l'implantation cochléaire bilatérale participe à un développement du langage oral qui peut se révéler harmonieux.

#### **3.1 Implantation cochléaire bilatérale précoce et langage oral**

##### ***3.1.1 Exposition précoce aux bruits de l'environnement.***

L'ouïe est totalement fonctionnelle avant la naissance, autorisant la création de connexions neuronales in utero grâce aux apports auditifs. Le système nerveux est significativement formaté par une exposition précoce au langage à travers les interactions sociales et la plupart des compétences des enfants sont acquises de façon

indirecte (Miyamoto et al., 2017). Plus tôt l'enfant a accès au monde sonore, plus tôt ces connexions pourront s'établir : l'âge d'implantation serait donc un important prédicteur des compétences des enfants sourds implantés (Robbins et al., 2004).

Une étude portant sur la réussite scolaire d'enfants implantés cochléaires montre qu'une implantation avant l'âge de 3 ans est un facteur de bon pronostic (Diaz et al., 2019). Cela est en accord avec les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS), qui préconise une première implantation avant l'âge de 18 mois (HAS, 2009), recommandations dont l'application est rendue possible grâce au dépistage néonatal de la surdité instauré en France depuis 2012.

L'exposition précoce aux bruits de l'environnement est donc primordiale pour le développement ultérieur de l'enfant, notamment concernant l'acquisition du langage.

### ***3.1.2 Bi-implantation précoce et compétence langagière.***

Pour apprendre une langue, l'enfant doit être capable de distinguer et de prendre en compte les signaux significatifs pour la communication parmi une gamme de sons dans l'environnement (Wang et al., 2017). L'implantation précoce bilatérale semble aider les enfants à acquérir une meilleure conscience phonologique, précurseur à l'apprentissage de la lecture (Geers et al., 2008).

Les apports de la bi-implantation rendent accessible à l'enfant l'acquisition fortuite du langage. Ce faisant, il accède aux compétences linguistiques de haut niveau : raisonnement verbal, capacités à utiliser les concepts verbaux, résolution de problèmes via un raisonnement linguistique (Jacobs et al., 2016). À 12-24 mois post-implantation bilatérale précoce simultanée, l'enfant d'âge préscolaire ayant bénéficié d'une éducation auditive, développe des capacités langagières à une vitesse supérieure à ce que laisserait penser son âge auditif : il atteint les mêmes compétences que ses pairs entendants (Wie, 2010).

Entre langage et fonctions cognitives existent des liens de réciprocité. La surdité influence négativement nombre d'habiletés cognitives qui sont autant d'éléments essentiels à l'apprentissage d'une langue (Wang et al., 2017). La réhabilitation de l'audition, accompagnée d'un travail auditif, aura donc naturellement des effets bénéfiques sur les autres fonctions de haut niveau.

### **3.2 Implantation cochléaire bilatérale précoce et mémoire de travail**

Dans une étude testant précisément l'effet de l'implantation cochléaire sur la mémoire de travail, les mesures prises avant implantation et à 6 mois post-implantation montrent notamment une amélioration significative de la mémoire de travail (Shin et

al., 2007). La réhabilitation auditive offerte par la bi-implantation cochléaire, en réduisant les efforts fournis pour écouter, permet d'augmenter la capacité en ressources de mémoire de travail disponible (Jacobs et al., 2016). Ces effets ne se retrouvent toutefois pas dans toutes les études.

Dans leur expérience comparant la formation de concepts chez des enfants implantés et des enfants normo-entendants, Castellanos et al. (2015) notent une plus grande influence de la mémoire de travail chez les enfants implantés.

Davidson et al. (2019) montrent que les enfants implantés ont un déficit en mémoire de travail verbale. Soumis à des tâches de traitement visuo-spatial et de raisonnement qui minimisent l'étiquetage verbal des stimuli, leurs performances se rapprochent toutefois de celles de leurs pairs normo-entendants : la mémoire de travail verbale ne se trouverait donc pas totalement réhabilitée par l'implantation. La variabilité des bénéfices de cette dernière ne suffit pas à expliquer la disparité des résultats obtenus dans certaines études. La cognition est proposée comme cause additionnelle. Une étude suggère que le rôle de la mémoire de travail, de l'intelligence générale et des compétences en langage et mathématiques est essentiel au développement des enfants sourds implantés (Huber & Kipman, 2012).

Selon Shin et al. (2007) l'implantation cochléaire améliore non seulement les capacités auditives des enfants sourds, mais elle joue aussi un rôle crucial dans le développement cognitif général. Cependant, des enfants sourds ayant de bonnes capacités générales, et aucun déficit développemental, neurologique ou cognitif présentent un risque plus élevé que les normo-entendants de développer des troubles.

Ainsi, les effets de la bi-implantation cochléaire sur le langage ne se retrouvent pas toujours sur la mémoire de travail et les autres compétences de haut niveau. En effet, la réhabilitation auditive n'annule pas la surdité. Qu'en est-il du raisonnement ?

### **3.3 Implantation cochléaire bilatérale précoce et raisonnement**

L'acquisition harmonieuse et spontanée du langage des enfants sourds naissant de parents entendants pourrait prévenir d'éventuels déficits en raisonnement et dans les apprentissages, dus à un manque d'exposition aux sons (Huber & Kipman, 2012).

L'étude de Castellanos et al. montre que les enfants implantés obtiennent de moins bons résultats que leurs pairs entendants quand il s'agit de combiner et d'intégrer des similarités ou différences dans plusieurs stimuli ou pour appliquer des concepts relationnels d'ordre supérieur impliquant « et » ou « ou » (Castellanos et al., 2015). Cette même étude trouve que le langage est plus fortement corrélé à la

formation de concepts chez les enfants implantés que chez les normo-entendants. Ils postulent donc que le délai dans la formation de concepts des enfants implantés cochléaires est lié au niveau de langue et d'inhibition-concentration.

Hall et al. (2018) montrent que les groupes d'enfants entendants, sourds signants natifs et sourds implantés oralisants de 7 à 12 ans présentent tous trois des capacités d'apprentissage implicite. Il est toutefois à noter que le niveau de langue du groupe d'enfants sourds oralisants n'a pas été contrôlé dans cette étude. Ces enfants ayant bénéficié d'une implantation à l'âge moyen de 16 mois ont pu acquérir des capacités langagières dans la moyenne et rattraper les enfants entendants. Se pose alors la question de l'influence d'une simple exposition à une langue, plutôt que sa maîtrise.

#### **4 Problématique et hypothèse**

Quelles seront les compétences en raisonnement d'enfants sourds ayant bénéficié d'une implantation cochléaire bilatérale précoce (avant 36 mois) leur ayant permis d'acquérir un niveau langagier dans la moyenne ? Du fait des intrications entre langage et fonctions exécutives, un langage quantitativement dans la moyenne va-t-il nécessairement de pair avec des habiletés cognitives générales dans la moyenne ?

Considérant les données de la littérature, l'hypothèse retenue est que des enfants ayant bénéficié d'une implantation cochléaire bilatérale précoce et d'un accompagnement pluridisciplinaire leur ayant permis de développer un langage oral dans la moyenne aux tests orthophoniques auront des compétences en raisonnement comparables à celles d'enfants entendants de même âge.

## **II Méthode**

### **1 Population**

#### **1.1 Recrutement**

Les critères d'inclusion choisis pour le recrutement des trois sujets ont été les suivants : présenter une surdité profonde bilatérale congénitale sans trouble cognitif ou neurodéveloppemental associé ; être né de parents entendants ; avoir été bi-implanté cochléaire avec la première oreille implantée avant 18 mois ; avoir bénéficié d'un suivi pluridisciplinaire précoce ; avoir un niveau de développement langagier dans la moyenne objectivé par des tests orthophoniques de moins de 2 ans ; être âgé de 10 ans au moment de l'étude (janvier-février 2021).

L'âge de 10 ans se situe dans le stade opératoire concret décrit par Piaget, stade auquel les enfants développent la notion d'invariants et sont capables de réaliser

l'opération mentale de réversibilité. Cet âge correspond aussi au début de la conceptualisation et du raisonnement logique. Les connexions cérébrales décrites par Houdé se transforment également autour de 10 ans. Cela constitue donc un âge charnière dans le développement du raisonnement.

## **1.2 Description des trois participantes**

Les trois participantes ont été recrutées dans le même Service de Soutien à l'Éducation Familiale et à la Scolarisation (SSEFS), dans lequel elles bénéficient d'un suivi pluridisciplinaire.

### **1.2.1 N.**

Cadette d'une fratrie de deux, N. a une grande sœur entendante. Ses parents, aujourd'hui séparés, sont d'un niveau socio-économique élevé. N. pratique le tennis et est une averse lectrice.

Le diagnostic de surdité est posé à 1 an. N. bénéficie d'un premier implant à 18 mois puis d'un second à 26 mois. Dès le diagnostic posé, elle est prise en soin en SSEFS. Quelques signes de la LSF sont alors introduits, repris par ses parents. Au moment de l'entrée dans le langage de N., celle-ci ne se saisit ni des signes ni du code de la Langue française Parlée Complétée (LfPC) introduit par la suite, ces derniers sont donc progressivement abandonnés.

Aujourd'hui, N. est scolarisée en CM2 ordinaire. En termes de prises en soin, elle bénéficie d'un suivi psychologique, de l'intervention d'une enseignante spécialisée deux fois par semaine et d'une veille orthophonique : un bilan est réalisé de façon régulière. Sa maîtresse porte un micro HF.

### **1.2.1 F.**

Cadette d'une fratrie de trois, F. a des frères et sœurs entendants. Ses parents sont d'un haut niveau socio-économique. De mère coréenne et de père français, elle est née en Chine. F. pratique la musique et le taekwondo.

Le diagnostic de surdité est posé à 1 an dans le cadre du syndrome de Waardenburg (surdité sans atteinte cognitive). F. est implantée de la première oreille à 16 mois, en Corée du Sud. L'implantation de la seconde oreille a lieu en France lorsqu'elle est âgée de 38 mois. Avant son arrivée en France à 20 mois, âge auquel débute le suivi en SSEFS, F. avait eu des séances d'orthophonie avec une orthophoniste française installée à Shanghai ayant introduit quelques signes issus de la LSF. La prise en soin orthophonique a pris fin à son entrée au CP ; un bilan est réalisé annuellement.

Ses parents lui ont parlé uniquement français de sa naissance à ses 5 ans, âge auquel sa mère a commencé à s'adresser à elle en coréen – langue que F. maîtrise aujourd'hui. La famille s'est mise à l'anglais lorsque F. a eu 8 ans.

F. est en CM2 en école ordinaire. Un micro HF a été abandonné au bout de 2 mois car F. n'en ressentait pas le besoin. Il sera peut-être remis en place au collège.

### **1.2.2 D.**

Aînée d'une fratrie de deux, D. a une petite sœur entendants. Ses parents sont d'un niveau socio-économique élevé. D. pratique la danse et le théâtre.

Le diagnostic de surdité est posé à 4 mois. D. bénéficie d'un premier implant à 18 mois et d'un second à 30 mois. La prise en soin orthophonique est actuellement suspendue. D. a bénéficié de français ponctué de signes à l'instigation de ses parents suite au diagnostic de surdité. Elle est exposée au code LfPC depuis l'âge d'1 an, par ses parents puis les professionnels du SSEFS. Tandis que ses parents continuent de coder occasionnellement, D. bénéficie de deux demi-journées avec une codeuse LfPC présente en classe. Cette dernière intervient également en classe d'anglais, avec le *Cued Speech* (version anglaise du LfPC). D. est scolarisée en CM2 en  cole ordinaire.

## **2 Matériel**

### **2.1 Exploration du Raisonnement et du Langage Associé (ERLA)**

#### **2.1.1 Description du test.**

La mallette ERLA (Exploration du Raisonnement et du Langage Associé) (Legeay et al., 2009) contient des épreuves en partie inspirées des protocoles de Piaget. Elles permettent « une analyse quantitative en référence à des repères développementaux ainsi qu'une analyse qualitative de chaque épreuve » (Legeay et al., 2013). En référence à Piaget, l'analyse quantitative permet d'établir le *stade* auquel se situe l'enfant. Au stade 1, l'enfant, submergé par le perceptif, se focalise « sur une dimension et une seule et [juge] à partir de ce seul point de vue » (Fayol, 2018, p.10). Au stade 2, l'enfant émet des solutions intermédiaires : il est face à une « contradiction entre ce qui se *déduit* et ce qui *s'observe* » (Fayol, p.10). Enfin, au stade 3, l'enfant est « *certain a priori*. Les raisonnements et justifications attestent qu'il y a bien coordination des relations concentrées en un acte unique ». (Fayol, p.10)

La sélection d'épreuves proposée aux trois participantes est basée sur ce qui est attendu chez un enfant de 10 ans. L'enfant est amené à manipuler le matériel et à verbaliser ses actions. Ces conduites manuelles et verbales donnent des indications sur l'acquisition et la maîtrise du concept, l'extraction de lois détachables d'une

situation donnée et pouvant alors servir de socle pour la construction de connaissances. Il est alors possible d'en déduire son stade de développement cognitif. Il est à noter que l'ERLA est à destination d'enfants normo-entendants.

### **2.1.2 Descriptif des différentes épreuves de l'ERLA.**

Les épreuves 1 à 6 sont issues de la partie « Activités logicomathématiques et infralogiques » ; l'épreuve 7 de la partie « Le calcul et les situations numériques ».

#### *2.1.2.1 Épreuve 1 : Les changements de critères et les dichotomies.*

Le matériel de cette épreuve consiste en des carrés et des ronds pouvant être petits ou grands, de deux couleurs différentes. Dans un premier temps, l'enfant est amené à décrire le matériel, puis à annoncer les différents classements qu'il envisage de faire avec celui-ci. Dans un second temps, il réalise les classements annoncés. En dernier lieu, l'enfant détaille les différentes réalisations effectuées. Sont observées à la fois les conduites langagières employées par l'enfant, ses réalisations et la manière dont il les produit (organisations spatiales, rétroactions éventuelles...).

#### *2.1.2.2 Épreuve 2 : Inclusion simple 1 (les fleurs).*

La tâche consiste à présenter deux ensembles d'objets (roses et marguerites, artificielles dans la mallette, ici en papier) inclus dans une classe super-ordonnée (les fleurs), et à demander s'il y a plus de fleurs ou plus de marguerites/roses. Lors de cette épreuve sont observées les capacités de l'enfant à répondre correctement à la question posée, mais aussi et surtout les conduites langagières qu'il emploie. Ces dernières indiquent sa capacité à argumenter la relation inclusive et à la généraliser à travers des structures syntaxiques et sémantiques appropriées.

#### *2.1.2.3 Épreuve 3 : Sériation intercalaire.*

Le matériel pour cette épreuve est composé de deux séries de 10 bâtonnets de même couleur mais de tailles différentes pouvant s'intercaler les uns entre les autres. Dans un premier temps, l'enfant dispose de la première série de 10 bâtonnets, entre lesquels il est ensuite invité à intercaler les 10 autres bâtonnets. Lors de cette épreuve sont observées les capacités à anticiper la place des bâtonnets à intercaler en fonction de leur relation asymétrique. L'enfant est ensuite amené à évoquer les relations entre un élément et ses voisins d'une part et entre un élément et tous les autres d'autre part.

#### *2.1.2.4 Épreuve 4 : Expression et compréhension verbales des relations sériales.*

Sont proposées ici des baguettes de différentes tailles et de différentes couleurs. Ayant devant lui cinq baguettes, le sujet est invité à répondre à diverses questions sur



ces baguettes puis, plus précisément, sur la relation que celle du milieu entretient avec les autres. Dans un second temps, les 10 baguettes sont présentées à l'enfant. Il lui est demandé de désigner les baguettes répondant à une consigne, simple tout d'abord, puis se complexifiant, comme « Montre-moi une baguette plus grande que la grise et plus petite que la bleu foncé » (Legeay et al., 2009). Les deux dernières questions sont impossibles : impossibilité factuelle (la baguette à désigner devrait se trouver entre deux baguettes qui se suivent immédiatement) et impossibilité universelle (montrer une baguette à la fois plus grande qu'une grande baguette et plus petite qu'une petite baguette). Lors de cette épreuve sont observés la capacité à extraire les propriétés d'antisymétrie, l'emploi de comparatifs et superlatifs, les termes de mise en relation, la déduction et la compréhension des relations entre baguettes.

#### *2.1.2.5 Épreuve 5 : Conservation de la masse.*

L'enfant est invité à créer une boule de pâte à modeler de même poids que celle proposée. Une fois cette équivalence acceptée, des transformations de forme sont réalisées sur l'une des boules. L'enfant doit dire si les boules sont toujours de même poids. En fonction de sa réponse lui est proposée une contre-suggestion testant la solidité de sa certitude ou l'orientant vers la conservation de la masse. Pendant cette épreuve sont observées chez l'enfant son utilisation du matériel proposé et son adaptation à ses propriétés physiques, sa résistance au leurre perceptif, la solidité de sa compétence en conservation via les arguments d'identité (« ni ajouté, ni enlevé »), de compensation (exemple : « plus long mais plus fin ») et d'inversion (exemple : « on pourrait refaire la boule ») ainsi que sa capacité à changer d'avis, sa flexibilité mentale.

#### *2.1.2.6 Épreuve 6 : Conservation de la mesure des surfaces dans le cas de soustractions de surfaces partielles.*

Deux figurines de chevaux disposent chacune d'un pré de taille identique, les deux chevaux ont donc la même quantité d'herbe à manger. L'ajout d'un ou plusieurs cubes de même taille ou de tailles différentes sur les deux surfaces en parallèle ou sur l'une des deux seulement modifie la quantité d'herbe accessible. Sont testées ici les capacités du sujet à maintenir l'égalité de deux surfaces après soustractions de parties égales ; à affirmer l'inégalité des deux surfaces après soustractions de parties inégales ; à conserver cette égalité au-delà des leures perceptifs.

#### *2.1.2.7 Épreuve 7 : Problèmes arithmétiques : compréhension de situations additives.*

Des problèmes arithmétiques additifs sont donnés à lire à l'enfant (exemple : « Texte n°1 : Le chien avait huit croquettes. On lui a donné trois croquettes. Maintenant, le chien a 11 croquettes. » (Legeay et al., 2009)), puis du matériel lui est soumis afin qu'il puisse mimer l'histoire. En dernier lieu, les textes lui sont de nouveau proposés : il doit choisir deux informations et formuler une question pour faire deviner la troisième, ceci à trois reprises avec le même texte en manipulant les différentes informations. Lors de cette épreuve sont analysées la capacité de l'enfant à restituer correctement le déroulement de textes puis à décider d'une organisation des données pour construire une énigme (utilisation de termes spécifiques et de questions différentes).

#### *2.1.2.8 Épreuve 8 : Inférence complexe.*

Un texte est donné à l'enfant, à la fin duquel se trouve une question à laquelle il est invité à répondre. Pour ce faire, il doit coordonner les informations du texte selon des liens logiques d'inclusion.

### **2.2 Examath 8-15**

En complément de l'ERLA, les enfants ont aussi passé quelques épreuves étalonnées de la batterie Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016).

#### ***2.2.1 Module 5 : Résolution de problèmes arithmétiques à énoncé verbal.***

La résolution de problème est une activité complexe qui fait appel à de nombreuses habiletés cognitives générales : mémoire à long terme (récupération de connaissances sur le monde), mémoire à court terme et mémoire de travail, et des fonctions exécutives également impliquées dans le raisonnement. Lors de la résolution d'un problème, le sujet passe par cinq étapes (Ménissier, 2011 cité par Lafay & Helloin, 2016) : traduction du problème, intégration du problème, planification des actions, exécution des calculs et autocontrôle du résultat. Les trois premières étapes sont liées aux habiletés de langage et de raisonnement (Lafay & Helloin, 2016).

Les problèmes additifs de type combinaison et transformation ont été proposés aux enfants. Les problèmes additifs de type combinaison sont des problèmes dans lesquels « deux ensembles sont réunis et forment un tout » (Lafay & Helloin, 2016). Les problèmes additifs de type transformation, quant à eux, sont des problèmes dans lesquels une transformation (ajout ou retrait) est appliquée à un ensemble. La résolution du problème consiste à retrouver soit la situation initiale, soit la transformation, soit la situation finale.

## **2.2.2 Module 6 : Langage et raisonnement.**

Ce module évalue les capacités de raisonnement verbal et non verbal non strictement mathématique.

### *2.2.2.1 Inférence en images.*

« L'inférence est une opération mentale à la base de tout raisonnement, qui permet de passer d'un principe ou d'une affirmation à une conclusion ou à une nouvelle affirmation en utilisant un système de règles qui permettent de créer un lien entre elles » (Lafay & Helloin, 2016). L'épreuve non verbale « Inférences en images » propose une suite de deux à cinq images, dont une manque. La position de l'image manquante varie. Un choix doit être fait parmi trois propositions pour compléter la suite. Cette épreuve évalue la capacité de l'enfant à faire des liens logiques séquentiels.

### *2.2.2.2 Gestion des énoncés.*

Un problème est proposé à l'enfant qui doit déterminer si sa résolution en l'état est possible ou impossible. Il doit ensuite choisir parmi une liste de données celles qui seront nécessaires pour résoudre le problème, ou s'il en manque. Cette épreuve teste les étapes de traduction et d'intégration d'un problème, sans résolution du problème lui-même.

## **3 Procédure**

### **3.1 Chronologie**

Les épreuves de l'ERLA ont été administrées en janvier et février 2021, en une ou deux fois selon la disponibilité de l'enfant et les contraintes imposées par le couvre-feu. Celles du test Examath 8-15 ont été administrées au mois de mars 2021.

### **3.2 Description de la passation des épreuves**

Afin de limiter au maximum les impairs au moment d'administrer les tests aux enfants de l'étude, nous nous sommes tout d'abord entraînée sur deux enfants normo-entendants. Cela nous a aidée à nous ajuster face aux réponses des enfants et nous a donné un ordre d'idée sur le temps de passation des différentes épreuves.

La passation des épreuves a eu lieu au domicile des enfants, dans un lieu calme et bien éclairé. Pendant les épreuves, nous portons un masque inclusif donnant à l'enfant placé face à nous la possibilité de lire sur les lèvres. Avec la permission des parents et des enfants, les passations ont été filmées pour en faciliter l'analyse. Les tâches ont été présentées dans l'ordre énoncé plus haut. En fin d'épreuve, chaque enfant a reçu un cadeau en remerciement de sa participation à l'étude.

### III Résultats

#### 1 ERLA

Des figures représentant les résultats à certaines épreuves de l'ERLA sont disponibles en Annexe A. Un histogramme reprenant les différents temps de passation par enfant et par épreuve est visible en Annexe B.

##### 1.1 Épreuve 1 : Les changements de critères et les dichotomies

N. décrit spontanément les trois critères de forme, couleur et taille et anticipe ces trois classements. Elle utilise ses deux mains pour classer les éléments qui sont déplacés avec l'intention d'être classés. Les classements s'enchaînent les uns après les autres, et les critères employés sont verbalisés au fur et à mesure. Les éléments sont ordonnés de façon à ce qu'ils restent visibles. La recherche d'exhaustivité dans les collections est évidente, les gestes sont sûrs et réfléchis.

F. décrit spontanément les critères de forme et de couleur et anticipe les trois classements. Un critère isolé ne se dégage pas du deuxième classement. Le classement suivant, réalisé avec la main gauche uniquement, consiste en huit tas composés de quatre sous-tas par forme et taille. Le dernier classement est une nouvelle proposition de classement par couleur ; les tas sont ici ordonnés « du plus grand au plus petit » et non pas de façon aléatoire. Les dichotomies formes et tailles sont réalisées avec aide. Lors de la réalisation des tas avec une seule main, F. se laisse guider par le matériel et se réajuste au fur et à mesure ; les tas ne sont pas anticipés, et la manipulation du matériel est nécessaire pour y parvenir. Cette épreuve est réalisée sur un temps plus long que ce qui serait attendu et parsemée d'hésitations.

D. énonce les trois critères, anticipe la dichotomie de couleurs et d'autres classements. Tous les classements annoncés sont réalisés, ainsi que la dichotomie par taille. Elle utilise ses deux mains pour classer le matériel, qu'elle dispose devant elle en occupant tout l'espace. Les paquets sont en vrac, éloignés les uns des autres. Le dernier classement ne suit pas de critères logiques définis et D. ne peut d'ailleurs en expliquer la logique. Au moment de la phase de rappel des classements réalisés, D. doit manipuler le matériel pour refaire les classements.

La conclusion de cette épreuve est que les trois enfants n'ont pas le même niveau : N. en est au stade de la classification (stade 3), F. est en fin de stade 2, c'est-à-dire qu'elle oscille entre collections non figurales et classification, et D. se situe en début de stade 3.

##### 1.2 Épreuve 2 : Inclusion simple 1 (les fleurs)

N. prend les fleurs au fur et à mesure qu'elles sont posées sur la table. Ce besoin de manipulation semble la distraire des questions dont la répétition doit être quasi-systématique en début d'épreuve. Au fur et à mesure de l'épreuve, l'argumentation devient valable et les conduites langagières spécifiques. Certaines réponses sont d'ordre descriptif et d'autres, contenant des noms de classes, témoignent de la maîtrise de la relation d'inclusion : à la question « Imagine un champ plein de marguerites au milieu duquel pousse une rose. Dans ce champ-là, à ton avis y a-t-il plus de fleurs ou plus de marguerites ? » (Legeay et al., 2009), N. répond « plus de fleurs parce que les marguerites font partie des fleurs et la rose aussi ».

La relation d'inclusion chez F. est visible dans ses réponses par le recours à des noms de classes et des quantificateurs. Cette relation semble mise à mal lorsque le nombre de fleurs sur la table varie, faisant jouer la perception. Cela provoque chez F. de l'indécision et cause une incohérence : au moment où seules les marguerites restent sur la table, F. conclut qu'« il y a plus de marguerites ». Les roses et les marguerites ne sont pas comprises comme étant des espèces de fleurs parmi d'autres et cette assertion ne se construit pas au fur et à mesure des questions.

D. hésite, fait des retours en arrière et ses réponses semblent être fonction de la façon dont est posée la question. Les arguments ne sont pas encore totalement maîtrisés, même si elle utilise quantificateurs et noms de classe : la rose et la pâquerette sont des « sortes de fleurs ».

Cette épreuve est donc réussie par N. : elle maîtrise la relation d'inclusion (stade 3). Chez elle, le concept de classe est maîtrisé « sur le plan de l'extension et de la compréhension » (Legeay et al., 2009). Les enfants F. et D. sont en début de construction du stade 3 : la loi d'inclusion n'est pas encore totalement maîtrisée.

### **1.3 Épreuve 3 : Sériation intercalaire**

Les trois enfants font preuve d'anticipation quant à la place des baguettes à intercaler, témoignant ainsi du fait qu'elles les ont considérées « du point de vue de la relation asymétrique » (Legeay et al., 2009).

N. est en capacité d'exprimer toutes les conduites langagières attendues pour l'épreuve en termes de comparaison et de relation d'une baguette avec celles qui sont immédiatement voisines ainsi qu'avec toutes les autres.

Concernant F., on ne relève pas de mise en relation d'une baguette par rapport à toutes les autres. Cela peut cependant être attribué à une erreur de matériel (numéroté) plutôt qu'à une incapacité de l'enfant.

D. utilise les conduites langagières attendues pour l'épreuve en termes de comparaison et de relation d'une baguette avec celles qui sont immédiatement voisines. Concernant la relation entretenue par une baguette avec toutes les autres, elle est capable de l'exprimer à une seule reprise.

Les trois enfants parviennent donc à intercaler les baguettes au bon endroit et, la plupart du temps, à anticiper leur place ; elles en sont au stade de la sériation opératoire. Elles parviennent également toutes trois à signifier la relation entre trois éléments. Ce qui a été observé permet d'ajouter que seule N. possède la capacité à signifier cette relation entre un élément et tous les autres.

#### **1.4 Épreuve 4 : Expression et compréhension verbales des relations sériales**

N. peut exprimer les relations entre les différentes baguettes par l'utilisation de comparatifs, de superlatifs et coordonner des relations à partir d'une information. En compréhension, les bonnes baguettes sont pointées. Au moment de l'impossibilité factuelle, la consigne doit être répétée en insistant sur la nécessité de coordonner les deux informations pour ne montrer qu'une seule baguette. Après erreur, la réponse de N. aux impossibilités est claire : « ah ! mais c'est impossible. ».

F. parvient à exprimer les relations entre baguettes. En compréhension, les réponses sont celles attendues. La consigne de l'impossibilité factuelle doit être répétée trois fois avant que F. ne dise : « il n'y en a pas. », réponse également fournie pour l'impossibilité universelle. Le besoin d'étayage et de répétition pour y parvenir, ainsi que le fait que cette relation n'est pas dénoncée comme étant « impossible », montre l'absence d'expression spontanée de la loi.

D. est à l'aise avec l'utilisation de comparatifs, de superlatifs et l'expression de mises en relation. En compréhension, D. montre les baguettes attendues. Malgré plusieurs répétitions, l'impossibilité factuelle n'est pas repérée. La consigne de l'impossibilité universelle est répétée une fois et aboutit sur « il n'y en a pas », démontrant là aussi l'absence d'expression de loi d'emblée. Le temps de réalisation de cette épreuve est particulièrement long.

En conclusion, N. confirme ici sa maîtrise de l'opération de sériation. F. et D. sont quantitativement dans la norme, mais ont néanmoins besoin d'étayage et de plusieurs répétitions : elles sont en cours de consolidation de cette opération.

### **1.5 Épreuve 5 : Conservation de la masse**

N. soupèse spontanément les deux boules pour en évaluer l'égalité de poids. Aux transformations proposées, N. résiste au leurre perceptif. L'argument d'identité est évoqué en réponse aux différentes contre-suggestions. N. a besoin de soupeser de nouveau les objets avant d'en affirmer l'égalité et il est à noter que seul l'argument d'identité est évoqué.

F. réalise une boule de taille bien inférieure à celle qui lui est proposée, et indique que la sienne « a l'air plus petite ». Après avoir soupesé les deux boules du bout des doigts, elle confirme que la sienne est moins lourde. Elle ne souhaite toutefois pas la modifier pour rééquilibrer le poids. Un manque d'intérêt pour l'épreuve (suggéré par la psychomotricienne chargée de son suivi), une fatigabilité en seconde partie de test ou une mauvaise appréhension du concept de masse peuvent expliquer ce comportement. A trois des quatre transformations proposées, F. n'affirme pas l'égalité de masse entre les deux objets. Les contre-suggestions n'entraînent pas de changement de point de vue et les arguments invoqués sont fluctuants, non opératoires. L'argument d'inversion, employé spontanément à la troisième transformation, n'est pas réutilisé ensuite. Le temps de passation pour cette épreuve est bien supérieur à celui des autres sujets.

D. soupèse les deux boules sur invitation pour en évaluer l'équivalence de poids. L'argument d'identité est évoqué à trois reprises au moment des transformations. Il est également repris en réponse aux contre-suggestions, que D. réfute non sans quelques hésitations. Il est à noter ici que, comme chez N., seul l'argument d'identité est évoqué.

Finalement, chez N. et D., la conservation est en place (stade 3). F. se trouve à un stade intermédiaire (stade 2) : elle est encore influencée par les leurres perceptifs et la pensée intuitive.

### **1.6 Épreuve 6 : Conservation de la mesure des surfaces dans le cas de soustractions de surfaces partielles**

Les enfants N. et D. font preuve, tout au long de l'épreuve, de la capacité d'affirmer l'égalité de deux surfaces après soustractions de parties égales ou inégales et à conserver cette égalité au-delà des leurres perceptifs.

L'épreuve proposée à F. a dû être écourtée faute de temps. Les quelques questions posées indiquent cependant cette même capacité.

Cette épreuve est donc réussie par les trois participantes : elles possèdent l'opération logique de conservation des surfaces.

### **1.7 Épreuve 7 : Problèmes arithmétiques : compréhension de situations additives**

N. n'éprouve aucune difficulté à manipuler le matériel pour mimer les textes. Au moment de la rédaction de questions sur un texte, les trois questions formulées suivent toutefois la même structure.

F. s'est montrée plus attachée que les deux autres sujets à l'aspect perceptif du matériel (du fait d'un défaut de matériel, les croquettes proposées étaient symbolisées à la fois par des cubes et des rondelles de bouchon). Elle attribue à deux reprises un nombre de croquettes incorrect à chaque animal. Dans la seconde partie de l'épreuve, les questions posées sont variées et font montre d'une bonne temporalité : « Combien le chien avait-il de croquettes au départ ? ». Le temps de réalisation était ici plus long que pour les deux autres sujets.

D. manipule le matériel de façon appropriée pour mimer les textes. Lors de la seconde partie de l'épreuve, les questions posées indiquent une maîtrise du fond des problèmes à traiter, mais l'articulation elle-même des questions n'est pas correcte, comme par exemple dans : « Combien le cheval a plus de croquettes que le chien ? ».

### **1.8 Épreuve 8 : Inférence complexe**

Les trois enfants trouvent spontanément la première caractéristique et ont besoin d'aide pour accéder aux deux autres.

Les trois enfants sont donc en mesure de mettre différentes informations en coordination afin de réaliser une inférence complexe.

## **2 Examath 8-15**

### **2.1 Module 5 : Résolution de problèmes arithmétiques à énoncé verbal**

Les trois enfants se situent dans la norme attendue pour leur âge aux problèmes additifs de type combinaison, obtenant le nombre maximal de points (12/12).

A l'épreuve de problèmes additifs de type transformation, N. obtient 33/36 (-0,99  $\sigma$ ), F. obtient 34/36 (-0,47  $\sigma$ ) et D. obtient 36/36 (0,57  $\sigma$ ).

D'un point de vue qualitatif, N. pose une opération de façon incorrecte, s'en rend compte, la barre puis reste bloquée. Elle doit être rassurée sur ses capacités pour pouvoir poursuivre.

F. donne un résultat incorrect à l'opération de la deuxième transformation, malgré une opération et une justification correctes. Il est d'ailleurs à noter que F. pose cette opération de façon incomplète (1 – 22 au lieu de 31 – 22), trouve le bon résultat (9), le barre puis écrit 10. Pendant le reste de l'épreuve, elle écrira le résultat correct à une



opération, sans la poser. Cela résonne avec les erreurs de numération relevées lors de l'épreuve de problèmes arithmétiques de l'ERLA et pose la question de sa maîtrise des protocoles de résolution d'opérations.

D. pose quatre opérations sur les six proposées en transformation additive.

## **2.2 Module 6 : Langage et raisonnement**

### **2.2.1 Inférence en images.**

En termes quantitatifs, N. et F. obtiennent un score de 11/12 (0,59  $\sigma$ ) et D. un score de 12/12 (1,25  $\sigma$ ).

A cette épreuve, N. choisit une image incorrecte en position médiane. Sur la première image un homme fait l'acquisition d'une boîte de chocolats et sur la dernière image une femme ouvre la boîte de chocolats vide. Plutôt que de choisir l'image montrant l'homme avec du chocolat autour de la bouche, N. choisit celle sur laquelle un voleur est en train de s'enfuir, la boîte sous le bras. Le raisonnement émis pour expliquer son choix est plausible, mais rocambolesque et nécessiterait plusieurs images supplémentaires pour être en cohérence avec la fin proposée : l'homme aurait couru après le voleur pour récupérer la boîte, entre-temps vidée par le voleur.

Les temps de réponse de F. sont particulièrement longs lorsque l'image manquante est en position médiane ou finale. De nombreuses hésitations et quelques auto-corrections sont relevées. Les justifications données sont parfois peu logiques : « Ce n'est pas possible que [le voleur] ait la clé parce que c'est obligé que ce soit le propriétaire qui ait la clé. ».

### **2.2.2 Gestion des énoncés.**

A cette épreuve, N. obtient un score de 15/29 (-1,56  $\sigma$ ), F. 22/29 (-0,09  $\sigma$ ) et D. 29/29 (1,38  $\sigma$ ).

Lors de cette épreuve, N. est capable de décider si le problème est possible ou impossible. Ses erreurs ont trait au choix de nombreuses données non pertinentes pour la résolution du problème, qui « rendent le problème plus précis ». Questionnée plus avant sur ces données, elle est cependant capable de reconnaître leur inutilité.

F. éprouve des difficultés pour comprendre le but de cette épreuve, notamment au moment de choisir les données utiles pour résoudre le problème. Le temps de réponse à la question de savoir si le problème est possible ou non est toujours long, mais la réponse est correcte. Les réponses erronées ont lieu dans les deux derniers énoncés, suggérant une fatigabilité de F. Elles consistent en le choix de données inutiles pour la résolution du problème.

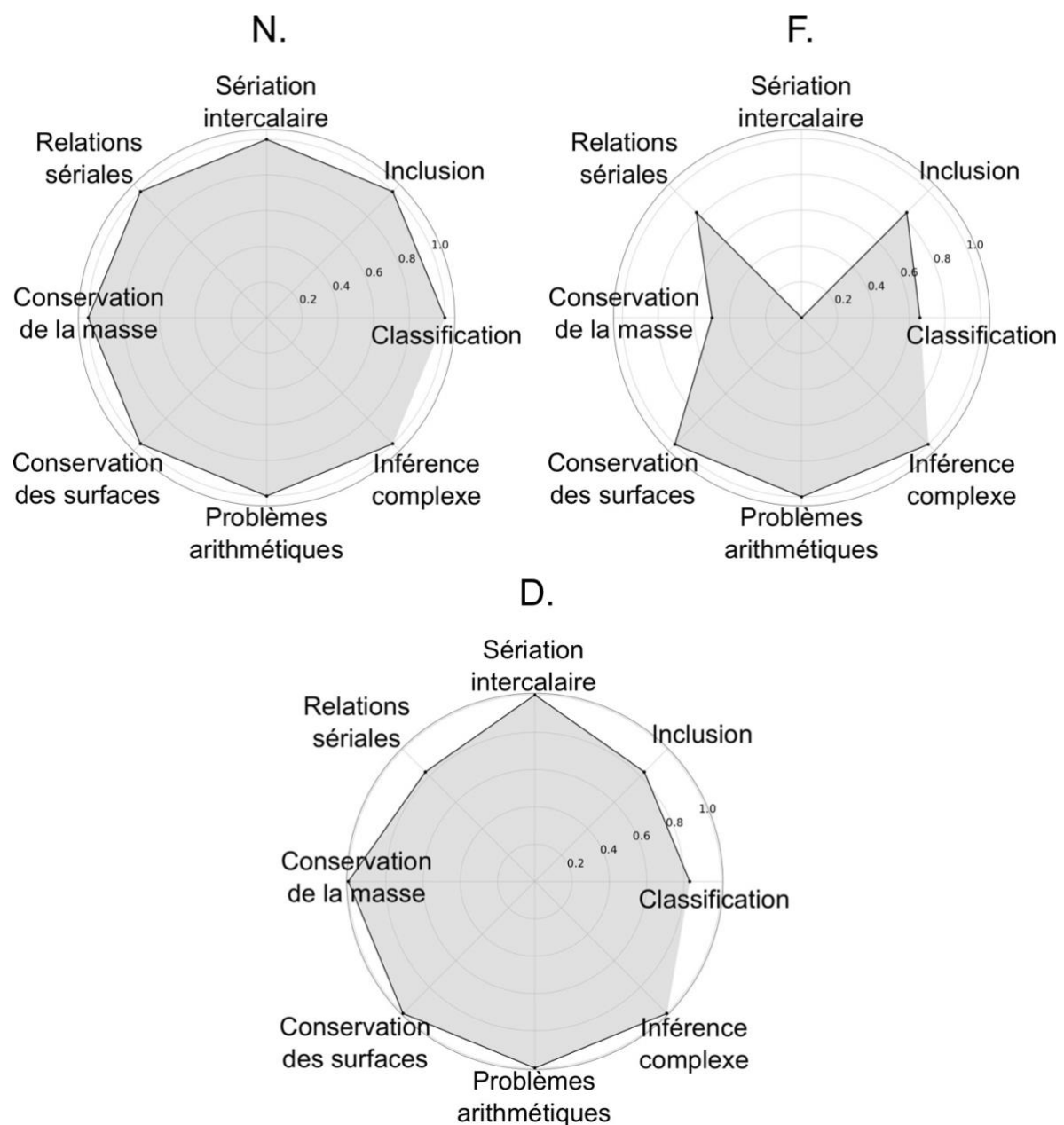
### 3 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus au test Examath 8-15 ne montrent pas de déficit. Seul est à relever le résultat faible obtenu par N. à l'épreuve « Gestion des énoncés ».

Au test ERLA, in fine, à l'exception d'un résultat déficitaire à l'épreuve de conservation de la masse, les trois sujets montrent des résultats dans la norme attendue pour leur âge. Les légers décalages ne peuvent être interprétés comme des déficits à proprement parler.

**Figure 1**

*Représentation Visuelle des Résultats des Trois Sujets aux Épreuves de l'ERLA*



De plus, comme le montre la Figure 1, les profils obtenus suite aux épreuves de l'ERLA sont homogènes. N. a le niveau attendu aux huit épreuves. F. a le niveau attendu à trois des huit épreuves ; est en cours d'acquisition de la structure dans trois épreuves ; présente un résultat déficitaire à l'épreuve de conservation de la masse et son résultat en sériation intercalaire ne peut être interprété. Enfin, D. se situe à un stade intermédiaire entre N. et F. : certaines structures sont acquises, elle manifeste le résultat attendu à cinq des épreuves ; les trois autres sont proches de l'être.

D'autre part, ces profils sont cohérents avec les temps de passation de chaque enfant (Annexe B) : les temps de N. sont souvent plus courts alors que ceux de F. sont plus longs.

Ces résultats ont été partagés avec les familles et l'équipe du SSEFS.

## **IV Discussion**

### **1 Re-contextualisation**

L'objectif de cette étude était d'examiner les compétences en raisonnement d'enfants sourdes âgées de 10 ans ayant bénéficié d'une bi-implantation cochléaire précoce afin de déterminer si elles étaient comparables à celles d'enfants normo-entendants du même âge. Dans cette optique, les trois enfants recrutées ont été soumises à des épreuves de raisonnement par le biais des batteries de tests ERLA et Examath 8-15. La première, à visée surtout qualitative, avait pour but d'investiguer la construction des opérations logiques (classification, inclusion, sériation, conservation) servant partiellement de base à la construction du raisonnement. La seconde a été utilisée dans l'objectif d'obtenir des données concernant la mise en application du raisonnement aux étapes de résolution de problèmes requérant son activation.

Le choix d'une population d'enfants implantées ayant un niveau de langage oral dans la moyenne se fonde sur l'existence de liens réciproques entre construction du raisonnement et développement du langage oral. L'hypothèse de départ était donc : à compétences langagières dans la moyenne, compétences en raisonnement dans la moyenne.

### **2 Mise en lien avec les recherches antérieures**

#### **2.1 Confrontation des résultats à l'hypothèse de départ**

Les résultats aux épreuves de ces trois sujets étant dans la moyenne attendue pour leur âge, l'hypothèse de départ se trouve donc validée. En effet, grâce aux aides mises en place tôt après leur naissance, ces enfants ont pu acquérir un niveau de

langue dans la moyenne. D'une part, l'exposition précoce aux bruits de l'environnement grâce à l'implant cochléaire leur a permis d'accéder aux apprentissages fortuits. D'autre part, les familles ont bénéficié des multiples ressources d'une prise en soin en SSEFS : partenariat avec les parents, prises en soin diverses, au premier rang desquelles l'orthophonie aidant à mettre du sens sur les sons de l'environnement et de la parole. Le rattrapage de ces trois sujets en termes de compétences en langue audio-vocale et de communication a permis l'interruption du suivi orthophonique. Enfin, les cadres familiaux protecteurs dans lesquels elles grandissent favorisent leur évolution harmonieuse.

Par ailleurs, cet environnement social et culturel, inhérent à l'individu, participe à la mise en place et la structuration des fonctions exécutives (Er-Rafiqi et al., 2017). La revue de littérature avait aussi montré l'intrication des liens entre le développement du langage et celui des fonctions exécutives, particulièrement pendant l'enfance (Kronenberger et al., 2013). Ainsi est-il possible de considérer que le développement personnel et langagier de ces trois enfants a contribué à l'établissement de fonctions cognitives de haut niveau. Les résultats obtenus aux épreuves, exigeantes en termes de mobilisation des fonctions exécutives, en sont la preuve.

Chez les trois participantes à l'étude, ces deux aspects, langage et fonctions exécutives, ont connu un développement équilibré. Il a été montré qu'ils influencent favorablement la construction du raisonnement ; les résultats obtenus aux différentes épreuves confirment donc l'établissement d'un raisonnement fiable.

Cependant, il est à noter l'obtention d'un résultat déficitaire en conservation de la masse par l'un des sujets. Ce décalage, ainsi que les légères variations observées aussi chez les deux autres sujets à certaines occasions, posent question et méritent d'être explorées.

## **2.2 La surdité comme cause des variations observées**

### **2.2.1 Retour sur les décalages observés.**

Les décalages observés à l'ERLA concernent plusieurs épreuves, mais peuvent être rassemblés en différentes catégories. Tout d'abord sont relevées plusieurs occurrences d'hésitations et de tâtonnements, un besoin de manipuler le matériel pour parvenir à un résultat. C'était particulièrement le cas lors de l'épreuve de classification. Cela traduit un fort coût cognitif et une difficulté d'abstraction, résultant in fine en une plus grande sollicitation de la mémoire de travail. Ensuite, l'absence de résistance au leurre perceptif et à la pensée intuitive était visible à plusieurs reprises, notamment

aux épreuves d'inclusion, de conservation de la masse et de problèmes arithmétiques. Cela pose la question de l'influence du perceptif et de la solidité de la fonction exécutive d'inhibition. Enfin, en quelques circonstances sont notées une variabilité dans les arguments annoncés et une absence de certitude, que ce soit en sériation ou en inclusion. Cela traduit une construction encore en cours des invariants, qui ne permet pas l'établissement d'une loi universelle pouvant servir d'outil d'apprentissage solide.

Les variations concernant le test Examath ont trait notamment aux épreuves proposées dans le Module 6. Les inférences en images ont donné lieu à des hésitations et les justifications étaient parfois peu logiques. L'épreuve de gestion des énoncés a fait montre de difficultés dans le choix des données pertinentes, que ce soit dans une optique de précision peu logique ou de décision erronée en fin d'épreuve.

De manière générale, il est possible de relever deux autres éléments importants : le temps de passation et la fatigabilité.

### ***2.2.2 Temps de passation, fatigabilité, coût cognitif et mémoire de travail.***

Le temps de passation, généralement plus long chez ces trois sujets que chez les enfants normo-entendants (ayant servi d'entraînement à la passation), témoigne d'une mobilisation cognitive plus importante. Cela confirme l'idée d'un coût cognitif plus grand pour les enfants sourds implantés que pour les enfants normo-entendants à des épreuves de raisonnement. Temps allongé et coût cognitif s'accompagnent d'une plus grande fatigabilité, pouvant résulter en des réponses erronées. En effet, un traitement performant par l'implant cochléaire n'équivaut pas à un traitement naturel des informations auditives : davantage d'efforts restent à fournir. En outre, les temps individuels relevés pour les trois sujets peuvent être mis en corrélation avec leur stade de développement respectif : les temps de passation sont plus longs chez F. que chez N. Deux hypothèses peuvent être évoquées ici. La première postulerait que la différence se situe au niveau du développement du raisonnement lui-même. La pensée, n'étant pas encore totalement automatisée, occasionne davantage d'efforts pour fournir une réponse. La seconde hypothèse irait dans le sens d'une plus forte demande en mémoire de travail chez les enfants sourds implantés. Les épreuves proposées dans cette étude étant exigeantes en termes de mobilisation cognitive, et notamment en mémoire de travail, elles ont donc engendré des temps de traitement allongés.

Par ailleurs, les profils homogènes des trois sujets de l'étude en termes de niveau de développement et de temps de passation des différentes épreuves sont concordants avec les variations observées lors des tests. Cette observation peut trouver une explication dans la variabilité interindividuelle concernant le succès de l'implant cochléaire. En effet, le succès de l'implant dépend non seulement de facteurs externes (caractéristiques de l'implant, histoire de l'audition, variables sociales et éducationnelles, potentiels troubles associés, etc.), certes primordiaux, mais également de la cognition, à savoir les fonctions exécutives (Shin et al., 2007 ; Huber & Kipman, 2012 ; Kronenberger et al., 2013 ; Castellanos et al., 2015). Il a été montré que la mémoire de travail est davantage corrélée à la formation de concepts chez des enfants sourds que chez des enfants normo-entendants (Castellanos et al., 2015). Toutefois, elle est l'une des fonctions exécutives particulièrement sollicitées par des épreuves de raisonnement, l'autre étant l'inhibition.

### ***2.2.3 Le rôle particulier de l'inhibition.***

De manière générale, les enfants implantés cochléaires sont à même de présenter des spécificités dans leur manière de fonctionner, de raisonner, notamment en termes de fonctions exécutives (Kronenberger et al., 2013). Les épreuves proposées étant exigeantes sur le plan de l'inhibition, l'influence de cette dernière sur les résultats est non négligeable.

Le rôle de prédicteur en formation de concepts de l'inhibition-concentration a été montré comme étant fondamental. Cette fonction cognitive de haut niveau intervient à différents niveaux dans les épreuves proposées. Dans l'épreuve d'inclusion, Borst et al. (2012) avancent que « la stratégie visuospatiale trompeuse doit être inhibée pour ensuite activer la stratégie logico-mathématique appropriée ». L'inhibition du leurre perceptif est également à l'œuvre dans l'épreuve de conservation de la masse. A cet égard, les résultats déficitaires démontrés par l'une des enfants traduisent les difficultés qu'elle éprouve « à se dégager des configurations perceptives pour ne s'attacher qu'aux transformations en tant que telles » (Dolle, 1999, p.157) : la réponse du Système 1 n'a pas été inhibée. A ce propos, l'influence du perceptif chez des enfants sourds a été mise en lumière dans une revue de littérature : à des épreuves de logique contenant peu de langage et une dimension perceptive importante, les enfants sourds présentent généralement un retard par rapport aux enfants entendants (Roux, 2014). Plusieurs auteurs contemporains se sont particulièrement intéressés à cette épreuve de conservation et ont établi une hypothèse plus générale concernant

la construction des lois. Ils remettent en question l'idée émise par Piaget selon laquelle l'individu ne serait plus sujet aux leurres perceptifs une fois parvenu au stade de raisonnement hypothético-déductif. Le tournant évoqué par ces auteurs réside dans la capacité de l'individu à inhiber ces leurres. Ainsi postulent-ils que le développement cognitif ne serait pas seulement l'acquisition progressive de connaissances (la construction de lois), mais aussi la capacité à résister à l'interférence et à inhiber les stratégies concurrentes inappropriées de résolution de problème (Daurignac et al., 2006 ; Houdé et al., 2011 ; Borst et al., 2012).

Toutefois, il est ici encore difficile de trancher entre les deux hypothèses qui s'offrent comme explications de ce phénomène. D'une part, il pourrait s'agir d'une insuffisance de rationalité, autrement dit d'une acquisition de connaissances encore en construction. D'autre part, ces résultats pourraient être expliqués par une inefficience de l'inhibition, à savoir une incapacité à inhiber une structure concurrentielle qui interfère en mémoire de travail (Houdé et al., 2000). En tout état de cause, l'inhibition ne doit pas être considérée comme « le seul déterminant de la performance » (Perret et al., 2003).

### **2.3 Autres explications possibles.**

Les enfants sourds constituent une population très hétérogène. Si la cognition est admise aujourd'hui comme l'un des facteurs explicatifs de la variabilité des succès de l'implant cochléaire sur le développement de l'enfant, d'autres facteurs les influencent fortement. Ces derniers peuvent être réunis en trois catégories principales : facteurs liés à la surdité elle-même, la personnalité de l'enfant et son environnement familial (Huber & Kipman, 2012 ; Kronenberger et al., 2013 ; Castellanos et al., 2015).

Tout d'abord, les facteurs relatifs à la surdité elle-même ont un impact sur les bienfaits de l'implant. Les principaux facteurs cités ont trait à l'histoire de cette surdité, à l'audition résiduelle pré-implantation, à l'âge à l'implantation, aux caractéristiques de l'implant lui-même. Par exemple, la position du porte-électrode semble jouer un rôle sur les bienfaits de l'implant (Lazard et al., 2011). La plupart de ces données relatives aux sujets de l'étude sont toutefois inconnues, hormis l'âge à l'implantation, qui diffère légèrement d'un sujet à l'autre.

Ensuite, le succès de l'implant dépend de la personnalité de l'enfant : la manière dont il se saisit, ou non, des aides à la communication qui lui sont proposées et plus

globalement ses capacités d'auto-régulation ou son élan à l'interaction. Ces variables, difficiles à mesurer, n'ont pas fait l'objet d'une recherche avancée ici.

Les choix parentaux, et l'environnement familial de manière générale, sont déterminants et constituent le troisième type de facteurs. Ils consistent en le choix du projet linguistique pour l'enfant, l'introduction de signes de la LSF ou du code LfPC. Indépendamment de ces choix liés à la surdité, la culture familiale a également une incidence. Concernant les trois sujets de l'étude, ces variables sont connues et apportent un éclairage sur leur profil. Ici, si les trois sujets proviennent de familles d'un haut niveau socio-culturel, il existe entre elles des différences notables. En termes de soutien à la communication, les trois familles ont opté pour des choix différents. De plus, F. est immergée dans une situation de bilinguisme, qui a sans doute eu une incidence sur son développement cognitif (Er-Rafiqi et al., 2017).

Ainsi ces facteurs liés à la surdité, à l'enfant lui-même et à sa famille auront-ils inévitablement des répercussions sur le développement ultérieur de l'enfant. Si elles sont parfois difficiles à mesurer, leur rôle sur les résultats obtenus aux épreuves ne peut être ignoré.

### **3 Limites et perspectives**

#### **3.1 Limites**

Il y a de nombreuses limites à cette étude, au premier rang desquelles le nombre de participants. Les conclusions fournissent un faisceau d'indices certes intéressant, mais il serait nécessaire d'augmenter la population pour conclure avec plus de confiance. Une population uniquement féminine constitue un autre biais. En effet, Roy (2015), tout en précisant que les études s'intéressant à ce sujet obtiennent des résultats variables, mentionne un effet significatif du genre sur le développement des fonctions exécutives. En outre, il aurait été intéressant d'évaluer les fonctions exécutives (notamment mémoire de travail et inhibition) chez ces enfants, afin de les mettre en lien avec leurs résultats.

De plus, cette population n'a pas été comparée à des sujets témoins normo-entendants appariés en âge, mais les résultats obtenus ont été analysés par rapport à une norme déterminée par les tests orthophoniques utilisés. Cette norme se base en outre sur une analyse majoritairement qualitative. De ce fait, les efforts pour objectiver l'analyse des résultats obtenus sont imparfaits.

Enfin, un autre biais méthodologique provient du choix de tâches inspirées des travaux de Piaget. Elles ont en effet vocation à induire l'enfant en erreur : leur



organisation perceptive et linguistique favorise l'activation d'une stratégie incohérente. En outre, les résultats obtenus au test ERLA permettent seulement d'émettre des « hypothèses quant au fonctionnement de pensée du patient » (Legeay et al., 2009).

### **3.2 Perspectives**

De ce fait, les perspectives offertes par cette étude sont, elles aussi, nombreuses. Deux pistes de recherche semblent émerger. La première concerne la proposition du protocole de cette étude à une autre population. Cette dernière pourrait avoir bénéficié d'une implantation cochléaire et d'un suivi en SSEFS précoces n'aboutissant pas à un niveau de langue dans la moyenne. Ce profil prévaut dans les populations recrutées pour les études citées et permettrait un échantillonnage plus large. L'objectif d'une telle étude serait d'apporter une preuve supplémentaire permettant de confirmer ou d'infirmer l'idée d'une interdépendance dans la construction du langage, des fonctions exécutives et leurs liens avec le raisonnement.

La seconde piste intéressante concerne les trois sujets de ce mémoire, dans une visée longitudinale. Il s'agirait d'examiner la progression de ces enfants dans le futur. Le niveau qu'elles ont acquis aujourd'hui en termes de langage et de raisonnement va-t-il évoluer de concert avec un succès académique ? Nombre d'études montrent que l'écart a tendance à se creuser au fur et à mesure de la scolarité (Geers et al., 2008 ; Diaz et al., 2019). Le suivi pluridisciplinaire, au premier rang desquels la veille orthophonique, trouve ici tout son sens. Cela constitue d'ailleurs l'un des aspects mis en lumière par cette étude, à savoir qu'il ne peut être fait l'économie d'un suivi global de ces enfants. L'accent mis sur le langage ne doit pas éclipser les autres aspects du développement de l'enfant pouvant être mis à mal par la surdité.

## **V Conclusion**

L'objectif de cette étude était d'examiner les compétences en raisonnement d'enfants sourds profonds ayant développé un niveau de langue dans la moyenne grâce à des implants cochléaires, un accompagnement pluridisciplinaire précoce et un environnement familial favorable. Après examen des liens théoriques forts entretenus par le langage, les fonctions exécutives et le raisonnement logique, cette étude a permis de valider l'hypothèse selon laquelle un développement harmonieux en termes de langage s'accompagne d'un niveau cohérent en raisonnement, via la structuration des fonctions exécutives. Les variations observées pendant la passation des tests se trouvent partiellement expliquées par les spécificités induites par la surdité chez les

enfants implantés. La demande en mémoire de travail est plus forte et il leur est parfois difficile d'inhiber les leurres perceptifs. Ce résultat met au jour la présence de légères répercussions de la surdité sur le raisonnement chez des enfants dont le niveau de langue est dans la moyenne. Il attire donc l'attention sur la nécessité d'une prise en soin globale et au long cours des enfants sourds implantés.

## VI Références

- Akçakaya, H., Aslan, F., Doğan, M., & Yücel, E. (2018). Relationships between reasoning, verbal working memory, and language in children with early cochlear implantation: A mediation effect. *Ankara University Faculty of Educational Sciences Journal of Special Education*, 19(3), 485–509. <https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.365076>
- AuBuchon, A. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2015). Short-Term and Working Memory Impairments in Early-Implanted, Long-Term Cochlear Implant Users Are Independent of Audibility and Speech Production. *Ear & Hearing*, 36(6), 733–737. <https://doi.org/10.1097/AUD.000000000000189>
- Baddeley, A. (2010). Working Memory. *Current Biology*, 20(4), 136–140.
- Bartin, M. (1976). Langage, milieu social et conservation des quantités physiques. Etude comparative entre sourds profonds de naissance et entendants. *Enfance*, 29(3), 267–85. <https://doi.org/10.3406/enfan.1976.2616>
- Borst, G., Poirel, N., Pineau, A., Cassotti, M., & Houdé, O. (2012). Inhibitory control in number-conservation and class-inclusion tasks: A neo-Piagetian inter-task priming study. *Cognitive Development*, 27, 283–298. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.02.004>
- Brin-Henry, F., Courrier, C., Lederlé, E., & Masy, V. (2011). Dictionnaire d'orthophonie (4th ed.). Ortho édition
- Castellanos, I., Kronenberger, W. G., Beer, J., Colson, B. G., Henning, S. C., Ditmars, A., & Pisoni, D. B. (2015). Concept Formation Skills in Long-Term Cochlear Implant Users. *Deaf Studies and Deaf Education*, 20(1), 27–40. <https://doi.org/10.1093/deafed/enu039>
- Cejas, I., Mitchell, C. M., Hoffman, M., Quittner, A. L. & the CDaCI Investigative Team. (2018). Comparisons of IQ in Children With and Without Cochlear Implants:

Longitudinal Findings and Associations With Language. *Ear & Hearing*, 39(6), 1187–1198. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000578>

Conway, C. M., Pisoni, D. B., Kronenberger, W. G. (2009). The importance of Sound for Cognitive Sequencing Abilities: The Auditory Scaffolding Hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 18(5), 275–279. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2009.01651.x>

Courtin, C. (2002). Le développement de la conceptualisation chez l'enfant sourd. *La Nouvelle revue de l'AIS*, 17, 181–195.

Cuda, D., Murri, A., Guerzoni, L., Fabrizi, E., & Mariani, V. (2014). Pre-school children have better spoken language when early implanted. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 78, 1327–1331. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.05.021>

Daurignac, E., Houdé, O., & Jouvent, R. (2006). Negative Priming in a Numerical Piaget-like Task as Evidenced by ERP. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 730–736. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.5.730>

Davidson, L. S., Geers, A. E., Hale, S., Sommers, M. M., Brenner, C., & Spehar, B. (2019). Effects of Early Auditory Deprivation on Working Memory and Reasoning Abilities in Verbal and Visuospatial Domains for Pediatric Cochlear Implant Recipients. *Ear & Hearing*, 40(3), 517–528. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000629>

Dehaene, S. (2020, October 13). *L'influence du langage en mathématiques* [Webinar]. L'influence du langage et des symboles sur la perception et la cognition, Collège de France. <https://www.college-de-france.fr/site/stanislas-dehaene/course-2020-10-13-09h30.htm>

Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

- Diaz, L., Labrell, F., Le Normand, M.-T., Guinchat, V., & Dellatolas, G. (2019). School achievement of deaf children ten years after cochlear implantation. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, 67(1), 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.neurenf.2018.07.006>
- Dolle, J.-M. (1999). Pour comprendre Jean Piaget (3rd ed.). Dunod
- Er-Rafiqi, M., Roukoz, C., Le Gall, D., Roy, A. (2017). Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Revue de neuropsychologie*, 9(1), 27–34. <https://doi.org/10.1684/nrp.2017.0405>
- Evans, J. S. B. (2003). In two minds: dual-process accounts of reasoning. *Trends in cognitive sciences*, 7(10), 454–459. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.08.012>
- Fayol, M. (2018). L'acquisition du nombre (3<sup>rd</sup> ed.). Presses universitaires de France
- Geers, A., Tobey, E., Moog, J., & Brenner, C. (2008). Long-term outcomes of cochlear implantation in the preschool years: From elementary grades to high school. *International Journal of Audiology*, 47(2), 21–30. <https://doi.org/10.1080/14992020802339167>
- Gottardis, L., Nunes, T., & Lunt, I. (2011). A synthesis of research on deaf and hearing children's mathematical achievement. *Deafness & education international*, 13(3), 131–150. <https://doi.org/10.1179/1557069X11Y.0000000006>
- Hall, M. L., Eigsti, I.-M., Bortfeld, H., & Lillo-Martin, D. (2018). Auditory access, language access, and implicit sequence learning in deaf children. *Developmental Science*, 21, Article e12575. <https://doi.org/10.1111/desc.12575>
- HAS. (2009). *Surdité de l'enfant : accompagnement des familles et suivi de l'enfant de 0 à 6 ans, hors accompagnement scolaire.* [https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2010-03/surdite\\_de\\_lenfant\\_-\\_0\\_a\\_6\\_ans\\_-\\_recommandations.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2010-03/surdite_de_lenfant_-_0_a_6_ans_-_recommandations.pdf)

- Houdé, O. (2018). *Le raisonnement* (2nd ed.). Presses Universitaires de France
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain: The neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(5), 721–728. <https://doi.org/10.1162/0898929005625255>
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lamberton, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J.-R., & Mazoyer, B. (2011). Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of experimental child psychology*, *110*(3), 332–346. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.04.008>
- Huber, M., & Kipman, U. (2012). Cognitive Skills and Academic Achievement of Deaf Children with Cochlear Implants. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *147*(4), 763–772. <https://doi.org/10.1177/0194599812448352>
- Jacobs, E., Langereis, M. C., Frijns, J. H. M., Free, R. H., Goedegebure, A., Smits, C., Stokroos, R. J., Ariens-Meijer, S. A. M., Mylanus, E. A. M., & Vermeulen, A. M. (2016). Benefits of simultaneous bilateral cochlear implantation on verbal reasoning skills in prelingually deaf children. *Research in Developmental Disabilities*, *58*, 104–113. <http://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.08.016>
- Kritzer, K. (2012). Building foundations for numeracy: A qualitative analysis of the basic concept knowledge demonstrated by young deaf children. *Australasian Journal of Early Childhood*, *37*(2), 106–112. <https://doi.org/10.1177/183693911203700214>
- Kritzer, K. L. (2009). Barely started and already left behind: A descriptive analysis of the mathematics ability demonstrated by young deaf children. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *14*(4), 409–421. <https://doi.org/10.1093/deafed/enp015>

- Kronenberger, W. G., Colson, B. G., Henning, S. C., & Pisoni, D. B. (2013). Executive Functioning and Speech-Language Skills Following Long-Term Use of Cochlear Implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 19(4), 456–470. <https://doi.org/10.1093/deafed/enu011>
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, 14(4), 389–433. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(05\)80012-1](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(05)80012-1)
- Lafay, A., & Helloin, M.-C. (2016). Examath 8-15 : batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques. Happyneuron
- Lazard, D. S., Giraud, A. L., Gnansia, D., Meyer, B., & Sterkers, O. (2011). Comprendre le cerveau sourd, implications dans la réhabilitation par implant cochléaire. *Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale*, 129(2), 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.aforl.2011.09.001>
- Legeay, M.-P., Morel, L., & Voye, M. (2009). Exploration du Raisonnement et du Langage Associé. Cogilud.
- Legeay, M.-P., Morel, L., & Voye, M. (2013). Le bilan ERLA : Exploration du Raisonnement et du Langage Associé. *Rééducation orthophonique*, 255, 75–85
- Leybaert, J., & Van Cutsem, M.-N. (2002). Counting in sign language. *Journal of experimental child psychology*, 81(4), 482–501. <https://doi.org/10.1006/jecp.2002.2660>
- Loundon, L. (2014). Implants cochléaires chez l'enfant : bilan et perspectives. *Réalités pédiatriques*, 187, 39–44. [https://www.realites-pediatriques.com/wp-content/uploads/sites/3/2016/04/RP\\_187\\_RG\\_Loundon.pdf](https://www.realites-pediatriques.com/wp-content/uploads/sites/3/2016/04/RP_187_RG_Loundon.pdf)
- Marcelino, L., Sousa, C., & Costa, C. (2019, July 1-3). *Cognitive foundations of mathematics learning in deaf students: a systematic literature review* [Conference

session]. EDULEARN19 Conference, Palma, Mallorca, Spain.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25971.27689>

Marschark, M. (2007). Comprendre et utiliser les bases cognitives de l'apprentissage chez les enfants sourds. *Enfance*, 59(3), 271–281. <https://doi.org/10.3917/enf.593.0271>

Marshall, C., Jones, A., Denmark, T., Mason, K., Atkinson, J., Botting, N., & Morgan, G. (2015). Deaf children's non-verbal working memory is impacted by their language experience. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 527. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00527>

Mayberry, R. I. (2002). Cognitive development in deaf children: the interface of language and perception in neuropsychology. *Handbook of neuropsychology*, 8(Part II), 71-107. <https://pages.ucsd.edu/~rmayberry/pubs/Mayberry-CogDev-Hndbok.pdf>

Mazeau, M. (2017). Du “Logico-mathématique” aux dyscalculies. *Rééducation orthophonique*, 270, 13–35

Mitchell, R. E., & Karchmer, M. (2004). Chasing the mythical ten percent: Parental hearing status of deaf and hard of hearing students in the United States. *Sign language studies*, 4(2), 138–163. <https://doi.org/10.1353/sls.2004.0005>

Miyamoto, R. T., Colson, B., Henning, S., & Pisoni, D. (2017). Cochlear implantation in infants below 12 months of age. *World Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, 3, 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.wjorl.2017.12.001>

Morsanyi, K., Devine, A., Nobes, A., & Szűcs, D. (2013). The link between logic, mathematics and imagination: evidence from children with developmental dyscalculia and mathematically gifted children. *Developmental Science* 16(4), 542–553. <https://doi.org/10.1111/desc.12048>



- Nunes, T., & Moreno, C. (2002). An intervention program for promoting deaf pupils' achievement in mathematics. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 7(2), 120–133. <https://doi.org/10.1093/deafed/7.2.120>
- Nunes, T., Bryant P., Evans, D., Bell, D., Gardner, S., Gardner, A., & Carraher, J. (2007). The contribution of logical reasoning to the learning of mathematics in primary school. *British Journal of Developmental Psychology*, 25, 147–166. <https://doi.org/10.1348/026151006X153127>
- Perret, P., Paour, J.-L., & Blaye, A. (2003). Respective contributions of inhibition and knowledge levels in class inclusion development: a negative priming study. *Developmental Science*, 6, 3–283. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00284>
- Piaget, J. (1954). Le Langage et la pensée du point de vue génétique. *Acta Psychologica*, 10, 51–60.
- Robbins, A. M., Koch, D. B., Osberger, M. J., Zimmerman-Phillips, S., & Kishon-Rabin, L. (2004). Effect of age at cochlear implantation on auditory skill development in infants and toddlers. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 130(5), 570-574. <https://doi.org/10.1001/archotol.130.5.570>
- Roux, M. (2014). Surdité et difficultés d'apprentissage en mathématiques, état des lieux et problématiques actuelles. *Bulletin de psychologie*, 532(4), 295–307. <https://doi.org/10.3917/bupsy.532.0295>
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions ex cutes de l'enfant :  tat des lieux et éléments de prospective. *Revue de Neuropsychologie*, 7(4), 245–256. <https://doi.org/10.3917/rne.074.0245>
- Shin, M.-S., Kim, S.-K., Kim, S.-S., Park, M.-H., Kim, C.-S., & Oh, S.-H. (2007). Comparison of Cognitive Function in Deaf Children Between Before and After

Cochlear Implant. *Ear & Hearing*, 28(2), 22S–28S.

<https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e318031541b>

Skwarchuk, S. L., Sowinski, C., & LeFevre, J. A. (2014). Formal and informal home learning activities in relation to children's early numeracy and literacy skills: The development of a home numeracy model. *Journal of experimental child psychology*, 121, 63–84. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.11.006>

Swanwick, R., Oddy, A., & Roper, T. (2005). Mathematics and deaf children: an exploration of barriers to success. *Deafness & Education International*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.1002/dei.20>

Szűcs, K. (2019, February). *Do hearing-impaired students learn mathematics in a different way than their hearing peers? – A review*. [Paper presentation] *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (No. 12). Freudenthal Institute, Utrecht University, The Netherlands.

Veneziano, E. (2001). Langage et Pensée. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 33, 147–159. <https://doi.org/10.3406/intel.2001.1638>

Wang, Y., Shafto, C. L., & Houston, D. M. (2018). Attention to speech and spoken language development in deaf children with cochlear implants: a 10-year longitudinal study. *Developmental science*, 21(6), e12677. <https://doi.org/10.1111/desc.12677>

Wie, O. B. (2010). Language development in children after receiving bilateral cochlear implants between 5 and 18 months. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 74(11), 1258–1266. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2010.07.026>

Zarfaty, Y., Nunes, T., & Bryant, P. (2004). The performance of young deaf children in spatial and temporal number tasks. *Journal of deaf studies and deaf education*, 9(3), 315–326. <https://doi.org/10.1093/deafed/enh034>

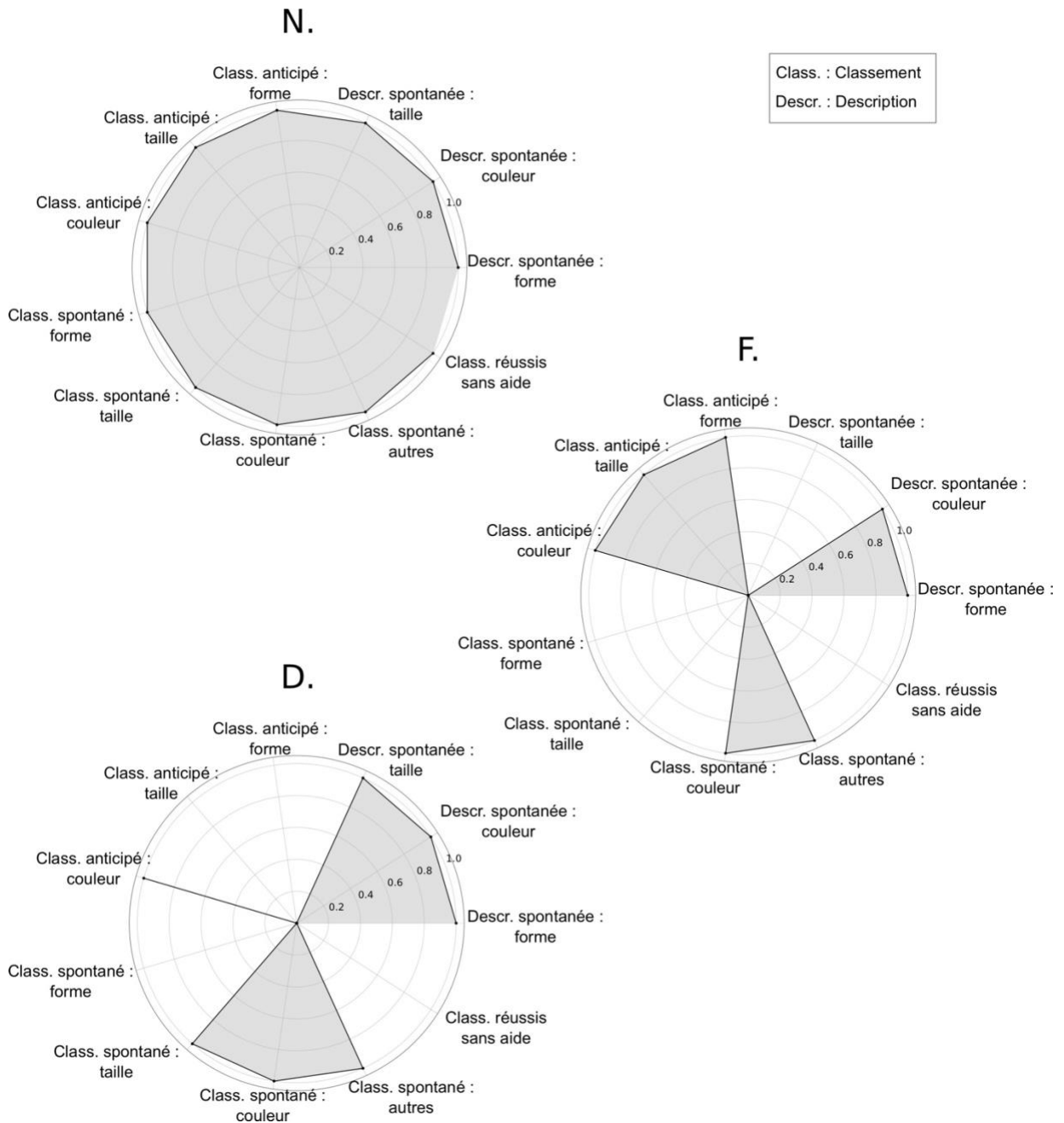
Zekveld, A. A., Deijen, J. B., Goverts, S. T., & Kramer, S. E. (2007). The relationship between nonverbal cognitive functions and hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50. 74–82. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/006\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/006))

## Annexes

### Annexe A : Figures représentant les résultats des trois enfants aux épreuves 1, 3, 4, 5 et 6 de l'ERLA

#### Figure A1

*Représentation Visuelle des Résultats à l'Épreuve 1 : Les Changements de Critères et les Dichotomies*

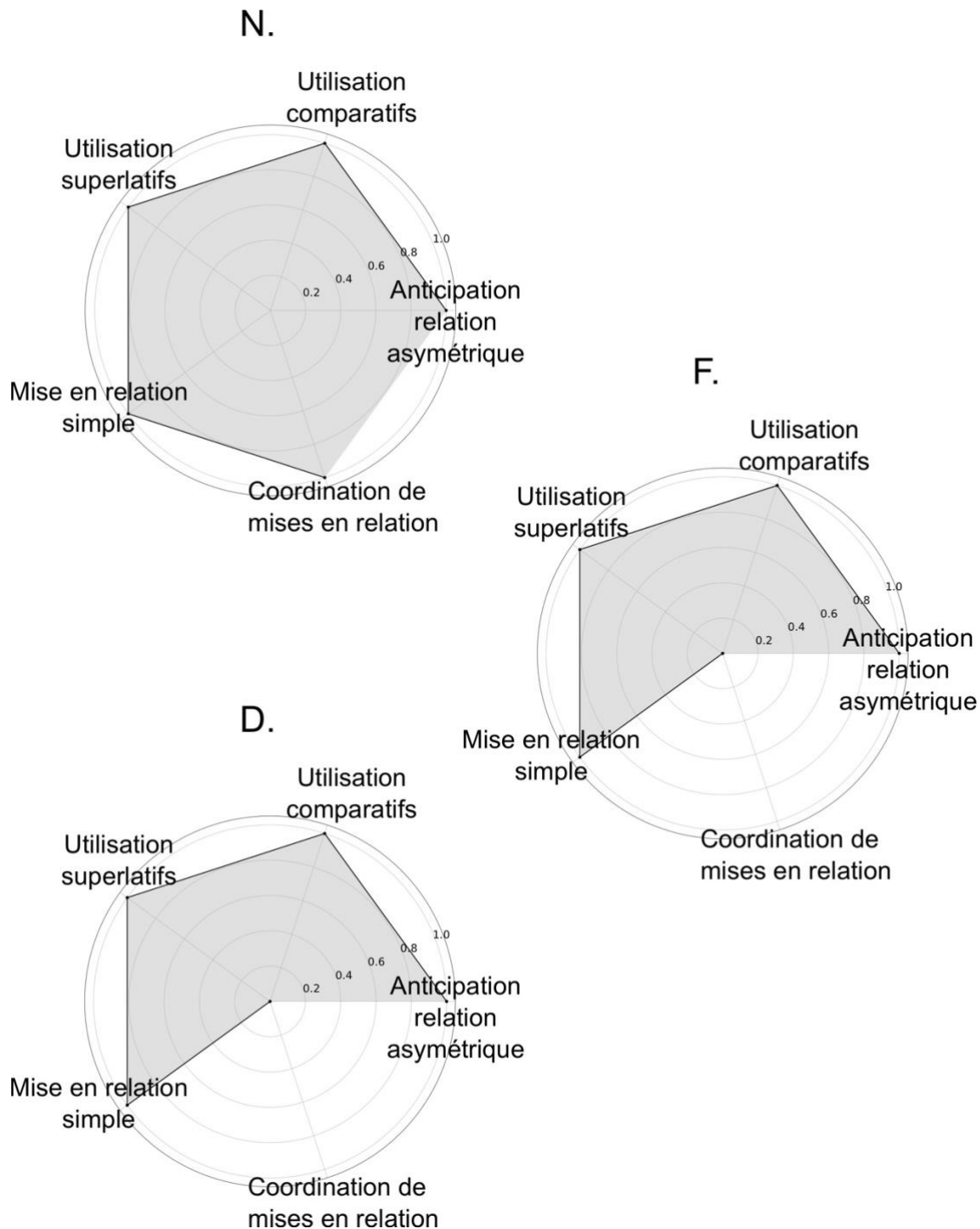


Ainsi qu'il est visible sur la Figure A1, à cette épreuve, N. a été capable d'énoncer les trois critères de forme, couleur et taille ; d'anticiper les trois dichotomies ; de réaliser

ces classements sans aide. F. énonce les critères de couleur et de forme ; anticipe les trois dichotomies ; réalise la dichotomie par couleurs et d'autres classements ; peut faire les deux autres dichotomies avec aide. D. énonce les trois critères ; anticipe la dichotomie par couleurs ; réalise les dichotomies par couleurs et par tailles, ainsi que d'autres classements ; peut faire la dichotomie par formes avec aide.

**Figure A2**

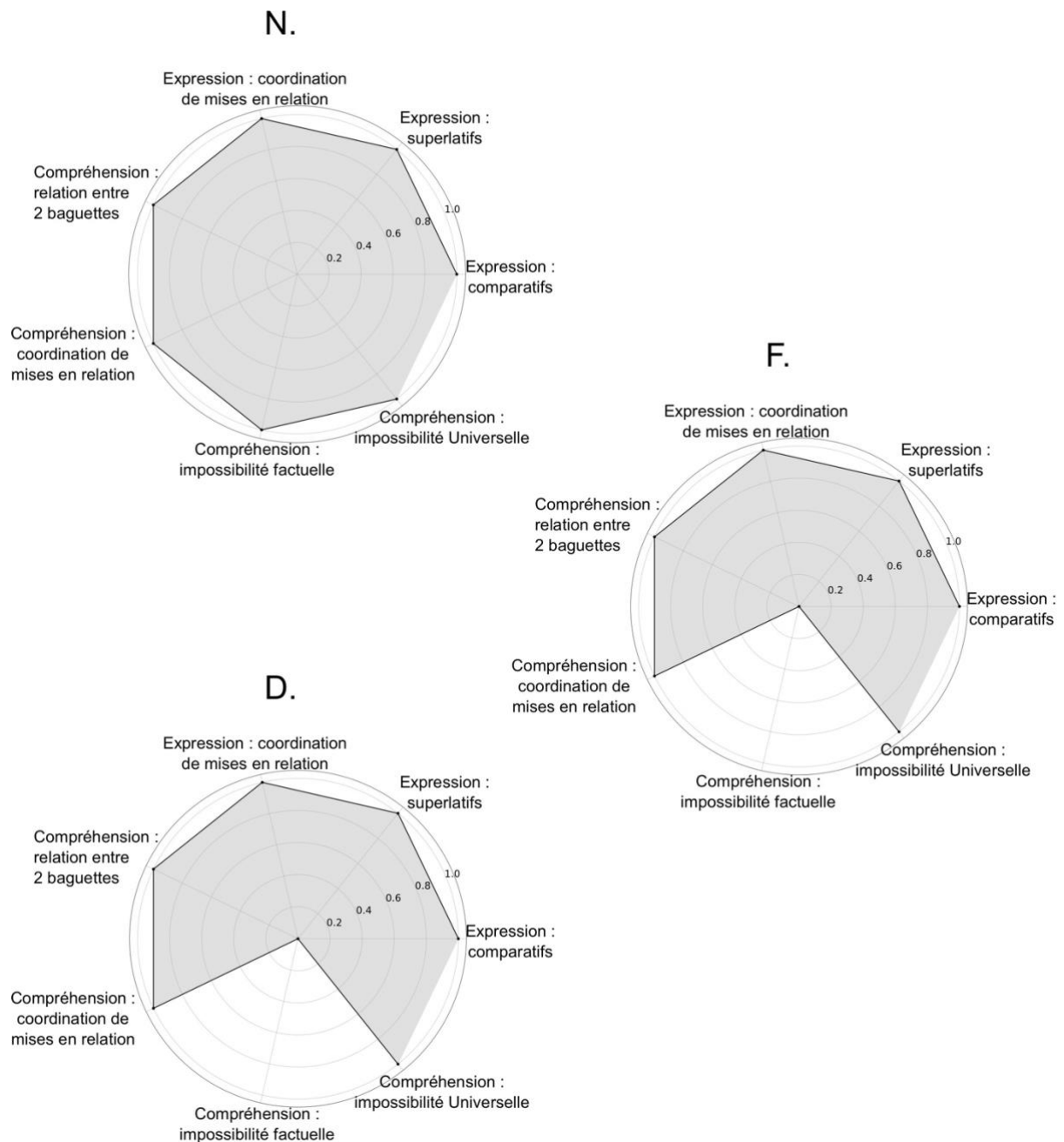
*Représentation Visuelle des Résultats à l'Épreuve 3 : Sériation Intercalaire*



A l'épreuve de sériation intercalaire (Figure A2), N. anticipe la relation asymétrique entre les baguettes pour placer les nouvelles baguettes ; utilise des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; est capable d'exprimer la relation qu'une baguette par rapport à ses voisines immédiates et par rapport à toutes les autres baguettes. F. anticipe la relation asymétrique entre les baguettes pour placer les nouvelles baguettes ; utilise des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; est capable d'exprimer la relation qu'une baguette par rapport à ses voisines immédiates ; les données sont incomplètes pour vérifier sa capacité à exprimer la relation d'une baguette par rapport à toutes les autres baguettes. D. anticipe la relation asymétrique entre les baguettes pour placer les nouvelles baguettes ; utilise des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; est capable d'exprimer la relation qu'une baguette par rapport à ses voisines immédiates ; ne maîtrise pas encore l'expression de la relation d'une baguette par rapport à toutes les autres baguettes.

**Figure A3**

*Représentation Visuelle des Résultats à l'Épreuve 4 : Expression et compréhension verbales des relations sériales*

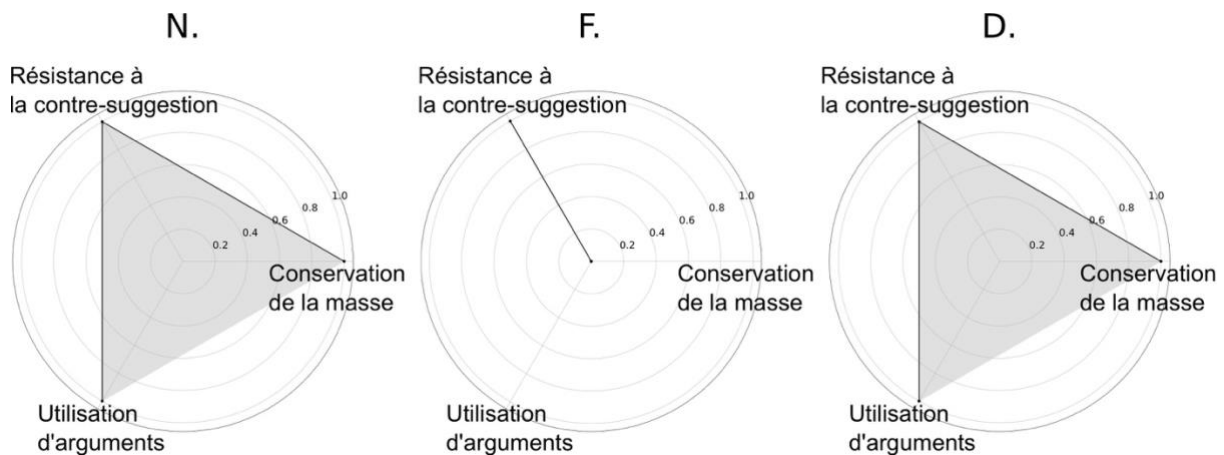


Sur la Figure A3 apparaît la capacité de N. à exprimer la coordination de mises en relation ; à utiliser des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; à comprendre la relation entre deux baguettes et la coordination de relations entre plusieurs baguettes ; à comprendre les impossibilités factuelle et universelle. F. peut exprimer la coordination de mises en relation ; utiliser des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; comprendre la

relation entre deux baguettes et la coordination de relations entre plusieurs baguettes ; comprendre l'impossibilité factuelle, mais pas l'impossibilité universelle. D. peut exprimer la coordination de mises en relation ; utiliser des conduites langagières composées de comparatifs, de superlatifs ; comprendre la relation entre deux baguettes et la coordination de relations entre plusieurs baguettes ; comprendre l'impossibilité factuelle, mais pas l'impossibilité universelle.

#### Figure A4

##### *Représentation Visuelle des Résultats à l'Épreuve 5 : Conservation de la masse*

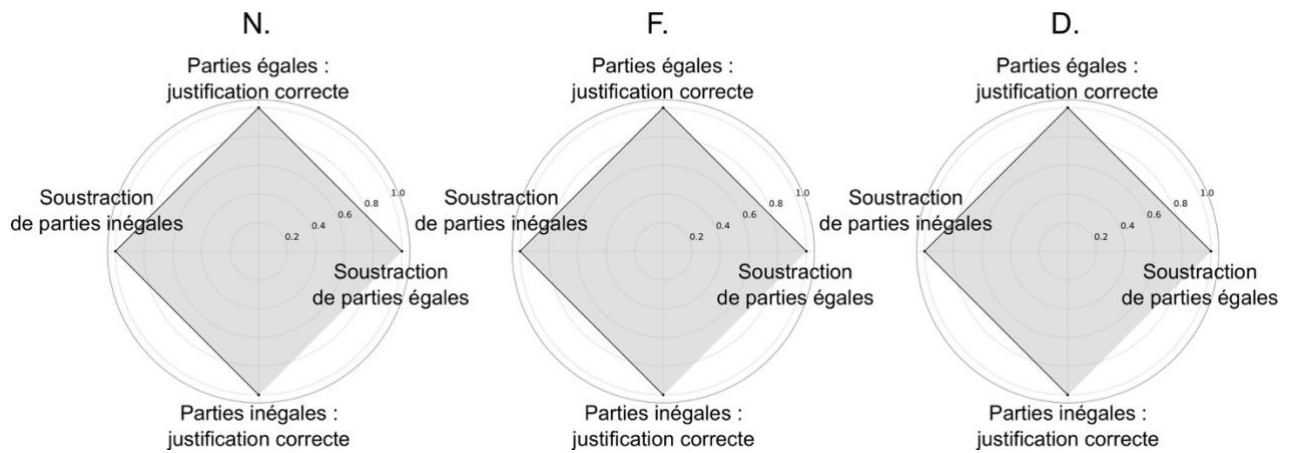


A l'épreuve de conservation de la masse (Figure A4), N. affirme l'égalité de poids entre la boule transformée et la boule restante via l'utilisation de l'argument d'identité ; est capable de résister à la contre-suggestion. F. ne parvient pas à l'égalité de poids entre la boule transformée et la boule restante ; utilise un argument qui n'est pas repris ensuite ; est capable de changer d'avis suite aux contre-suggestions. D. maintient l'égalité de poids entre les boules via l'utilisation d'un argument et résiste à la contre-suggestion.



## Figure A5

*Représentation Visuelle des Résultats à l'Épreuve 6 : Conservation de la Mesure des Surfaces Dans le cas de Soustractions de Surfaces Partielles*

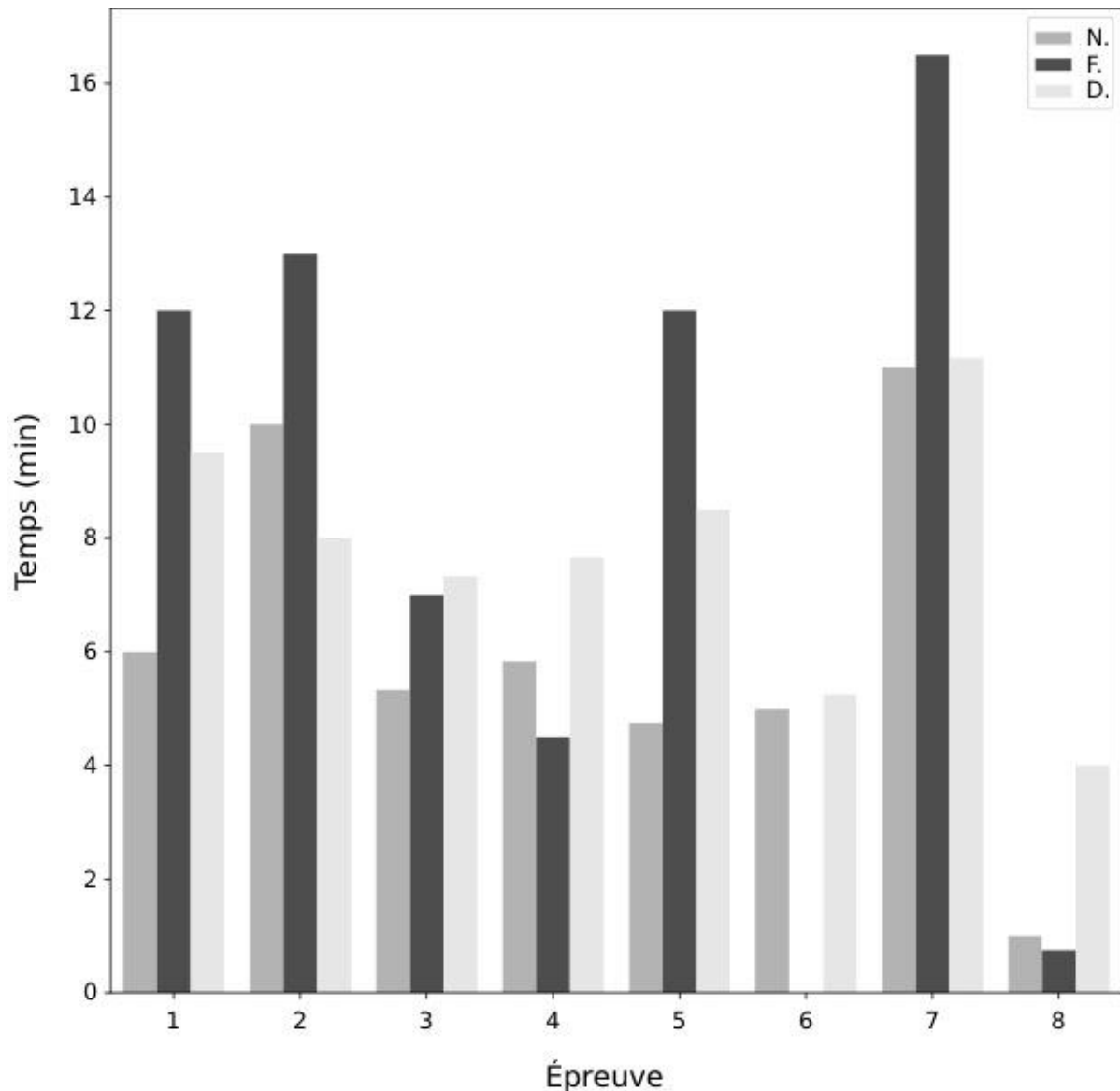


La Figure A5 montre que N., F. et D. sont capables d'affirmer la conservation de la mesure des surfaces en cas de soustraction de parties égales et inégales en donnant des justifications correctes.

## Annexe B : Temps de passation par épreuve

Figure B

*Temps de passation par épreuve*



La Figure B montre qu'en corrélation avec son niveau en raisonnement, les temps de passation présentés par N. aux différentes épreuves sont souvent les plus courts, à six épreuves sur les huit. Les temps de F. sont plus longs à quatre épreuves sur les huit et la différence de temps par rapport aux deux autres sujets est globalement importante. Aux autres épreuves, F. présente le temps le plus court à deux reprises et un temps intermédiaire à une reprise. Quant à D., elle présente des temps variables se situant soit entre N. et F., à trois épreuves sur huit, soit plus longs, à quatre épreuves.