



UNIL | Université de Lausanne  
Faculté des sciences sociales et politiques  
Institut de Psychologie

# Les capacités arithmétiques dans les syndromes de Down et de Williams

Mémoire théorique

Présenté par Amandine Buvelot

Maîtrise universitaire ès Sciences en Psychologie

Directeur : Pierre Lavenex

Experte : Pamela Banta Lavenex

**Remerciements :**

Je tiens à adresser mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de ce travail, en particulier :

Au professeur Pierre Lavenex, pour son encadrement, ses retours ainsi que sa disponibilité en continu lors du processus d'élaboration et de rédaction de ce mémoire. Nos échanges et les retours fournis m'ont été grandement bénéfique et m'ont permis de mener toujours plus loin la réflexion sur ma thématique.

À mes amis et collègues mémorants en psychologie qui m'ont soutenue et aiguillée lors de ce processus.

Ainsi qu'à ma famille, pour leurs relectures, leurs encouragements et conseils qui m'ont aidée à avancer durant cette dernière année.

<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>Stratégie de recherche des articles.....</b>	<b>7</b>
<b>La numérosité .....</b>	<b>8</b>
<i>Estimer et comparer de faibles numérosités .....</i>	<i>8</i>
<i>Estimer et comparer des numérosités élevées.....</i>	<i>17</i>
L'effet de distance .....	17
Traitement des numérosités élevées .....	20
<i>La ligne numérique mentale.....</i>	<i>24</i>
<b>Le comptage.....</b>	<b>29</b>
<b>Les opérations arithmétiques.....</b>	<b>43</b>
<i>Additions et soustractions .....</i>	<i>43</i>
<b>Conclusion .....</b>	<b>53</b>
<b>Références.....</b>	<b>55</b>

## Introduction

Le syndrome de Down (Trisomie 21) et le syndrome de Williams sont deux troubles neurodéveloppementaux d'origine génétique accompagnés de déficiences intellectuelles allant de modérées à importantes. Les QI des individus de ces deux populations sont relativement similaires, se situant entre 30 et 70 pour les individus avec le syndrome de Down et entre 40 et 90 pour les personnes avec le syndrome de Williams (Bellugi et al., 2000; Van Herwegen & Simms, 2020). Cependant, les capacités pouvant être considérées comme des forces ou des faiblesses ne sont pas les mêmes dans les deux syndromes et leurs profils sont souvent vues comme opposés dans la littérature.

Le syndrome de Williams est un trouble génétique rare, causé par une délétion d'environ 26 gènes sur le chromosome 7, affectant une naissance sur environ 7'500 à 20'000 (Martens, 2013; Strømme et al., 2002). Les individus avec le syndrome de Williams sont notamment caractérisés par des capacités langagières relativement préservées ; certaines études ayant montré qu'ils scorent plus haut que leur âge mental sur des tests de vocabulaire (Bellugi et al., 2000). En revanche, les capacités visuo-spatiales, sont régulièrement rapportées comme étant altérées. Le terme « capacités visuo-spatiales » étant le plus souvent entendu comme la capacité à se rappeler et replacer des éléments sur le plan spatial, et l'orientation d'éléments dans l'espace (Udwin & Yule, 1991).

Le syndrome de Down est un trouble génétique caractérisé par la présence d'un chromosome 21 en plus (dans 95% des cas). Il affecte une naissance sur environ 732 et est le syndrome génétique le plus communément identifié lors de retards mentaux (Sherman et al., 2007). Le profil cognitif des personnes avec le syndrome de Down est caractérisé par des capacités verbales, notamment d'expression verbale, moindres et de meilleures capacités de cognition spatiale comparativement aux personnes avec le syndrome de Williams (Wang, 1993).

Le langage et les capacités visuo-spatiales présentent tous deux une valeur prédictive pour l'apprentissage de l'arithmétique (Guez et al., 2023). C'est pourquoi ces deux profils sont d'un intérêt tout particulier dans ce domaine. Plusieurs études utilisent des participants avec le syndrome de Down

et de Williams, dans le but de déterminer la part du langage ou des capacités visuo-spatiales dans certaines tâches ou dans certains apprentissages. Deux termes sont utilisés pour parler de l'interaction entre les habiletés arithmétiques et les diverses aptitudes interfèrent avec celles-ci: *domain-specific* qui désigne des capacités qui sont spécifiques au domaine quantitatif comme la familiarité avec le système numérique, le Système des Nombres Approximatifs (SNA, permettant une approximation d'un nombre élevé d'éléments), le Système de Tracking des Objets (STO, permettant le suivi d'un petit nombre d'objets), et les capacités à manipuler les symboles des nombres. Il y a également les capacités dites *domain-general*, soit les capacités non spécifiques au domaine qui servent également à d'autres tâches comme les capacités d'inhibition, la mémoire de travail mais aussi les capacités visuo-spatiales et verbales (C. Gilmore et al., 2018). Dans ce travail, nous nous concentrerons principalement sur certaines de ces capacités spécifiques en ciblant notre intérêt sur des tâches particulières et sur la façon dont nos deux populations les résolvent ou non.

Dans l'avant-propos du numéro 156 de la revue A.N.A.E, Catherine Thévenot et Michel Fayol décrivent les habiletés arithmétiques comme « *[les] processus mentaux sous-tendant le traitement des quatre opérations élémentaires que sont l'addition, la soustraction, la multiplication et la division.* ». Il s'agit donc d'apprentissages et de savoirs qui permettront par la suite la réalisation d'opérations mathématiques. Il existe une différence entre le terme « capacités », utilisé dans ce manuscrit et le terme « habiletés », employé dans cette définition. « Habiletés » se réfère à l'application de connaissances, au savoir-faire. Le terme « capacités » lui, se réfère à des tâches plus complexes, alliant habiletés et connaissances. C'est pourquoi, dans le cadre de ce mémoire, le terme « capacités » sera employé, car il s'agit bien de l'association de connaissances et de savoir-faire plus élémentaires qui nous intéresse ici. Ces apprentissages et ces savoirs font partie des capacités fondamentales apprises durant les premières années d'éducation des enfants. En cela, l'apprentissage du comptage, d'additions, de soustractions, et d'estimations ont posé chez les humains les bases du fonctionnement quotidien. Prenons un exemple : lors d'un aller-retour au magasin, dans le but d'aller chercher les ingrédients nécessaires pour la réalisation d'un gâteau aux pommes, nous sommes capables d'estimer le

nombre de sacs de courses dont nous auront besoin, d'estimer la quantité d'essence restante dans le réservoir de notre voiture et de choisir un paquet de farine correspondant à ce qui est requis par la recette. Si en avançant vers le rayon où se trouvent les paquets de sucre, nous nous apercevons qu'il existe différents types de paquets, contenant différents grammages, nous sommes capables d'en additionner deux pour obtenir les 220 grammes de sucre nécessaires à notre gâteau. Enfin, lorsque vient le moment de payer, il nous suffit de sortir des billets et des pièces de monnaie, de les compter et de les additionner pour obtenir l'argent nécessaire pour régler ses achats. Toutes ces manipulations apparaissent peut-être évidentes voire triviales pour les personnes au développement typique, mais elles ne le seront pas nécessairement pour d'autres personnes au développement cognitif atypique comme les personnes avec le syndrome de Down ou le syndrome de Williams. Leurs profils considérés comme formés de « pics et de vallées » dans les domaines des capacités langagières et visuo-spatiales méritent donc de s'y attarder. La compréhension des mécanismes utilisés par ces personnes est centrale afin d'élaborer des pistes d'intervention pédagogiques, de permettre à ces personnes d'utiliser des capacités arithmétiques, et ainsi d'améliorer leur qualité de vie (Faragher & Brown, 2005).

Le but de ce travail est de considérer la littérature existante pour identifier non seulement quels sont ces pics et ces vallées, mais également leurs limites et la façon dont ces personnes naviguent le monde de l'arithmétique : c'est-à-dire, comment elles réalisent ces manipulations des chiffres, quelles erreurs elles commettent, ainsi que la façon dont ces différentes capacités ou incapacités pourraient intervenir dans la vie de tous les jours et dans différentes situations. Pour ce faire, la littérature concernant les capacités arithmétiques des personnes avec le syndrome de Down (abrégé SD) et le syndrome de Williams (abrégé SW) sera identifiée et synthétisée, dans le but non seulement d'identifier ce qui a déjà été établi dans ce domaine, mais également ce qu'il reste à découvrir.

Dans cette revue de littérature, je partirai de capacités plus primaires, ayant la particularité de pouvoir être testées sur de très jeunes enfants comme les comparaisons de numérosités puis, l'appréhension des magnitudes avec la ligne

numérique mentale puis le comptage et enfin, la manipulation de chiffres dans le cadre d'opérations mathématiques tels que les additions et les soustractions.

## Stratégie de recherche des articles

Il convient maintenant de présenter brièvement la démarche employée dans le but de réaliser cette revue de littérature. Pour ce faire, une première recherche de littérature générale a été effectuée à l'aide de différentes bases de données telles que psychINFO, Google scholar et Renouvaud. Différents mots-clés ont été utilisés : *arithmetic abilities*, *mathematics skills*, *Down Syndrome*, *Williams syndrome*, *counting*. À la suite de quoi, une première sélection large d'articles qui apparaissaient pertinents pour traiter ce sujet a été effectuée. Cette sélection a été réalisée sur la base des abstracts et/ou des introductions des différents articles. Les articles pris en compte ont été consignés dans une base de données Zotero.

J'ai commencé par lire et examiner les textes de revue de littérature, pour identifier le maximum d'articles, ainsi que pour récolter d'autres références n'ayant pas été identifiées à l'aide des mots-clés employés précédemment. Le but de ce travail étant de réunir différents résultats d'études pour les comparer et synthétiser les points principaux d'intérêt. J'ai décidé de concentrer mes efforts sur des études présentant des résultats de recherche expérimentale, ainsi que quelques études de cas.

Lors de la lecture des différentes références, j'ai repéré au fur et à mesure différentes thématiques importantes pour le développement des capacités arithmétiques dans les populations cliniques étudiées. J'ai donc considéré ces différentes catégories dans le but de structurer cette revue.

## La numérosité

L'estimation de la numérosité est considérée comme faisant partie des capacités primaires permettant par la suite la réalisation d'opérations arithmétiques. Les résultats ne menant pas toujours aux mêmes conclusions, une méta-analyse a été réalisée et rapporte une association positive entre l'acuité des nombres, c'est-à-dire, la performance dans les tâches de comparaisons non-symboliques, et les mathématiques (Chen & Li, 2014). Différents paradigmes expérimentaux permettent la réalisation d'études sur la numérosité et ce, même sur des bébés. Ils montrent que l'appréhension des numérosités débute avant même l'apprentissage des nombres (Xu & Spelke, 2000). Devant deux ensembles de points, il s'agit dans ce type d'expériences d'estimer et de choisir lequel dénombre davantage de points. De là découle une question : Est-ce que les mêmes procédures sous-tendent cette capacité lorsqu'il y a 13 et 18 points, et lorsqu'il y a 2 et 3 points ?

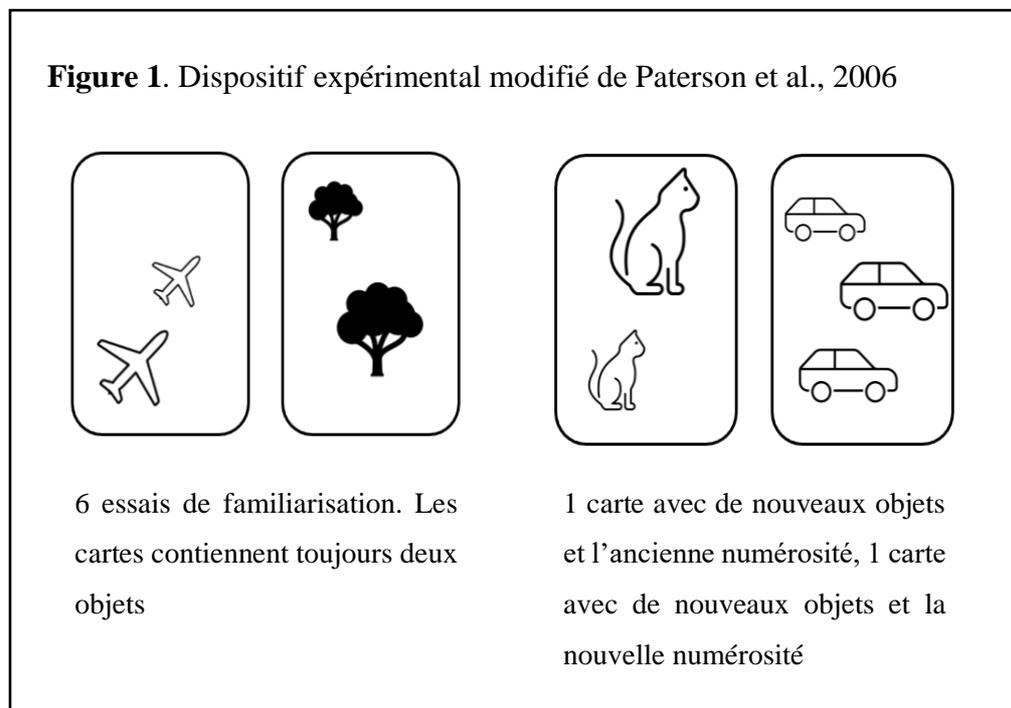
Le Système des Nombres Approximatifs (SNA ; *Approximate Number System*) permet l'extraction d'une approximation du nombre d'objets se trouvant dans un ensemble et le Système de Tracking d'Objets (STO, *Object Tracking System*, aussi parfois appelé Système Numérique Précis) permet la représentation des objets comme étant individuels et de les suivre dans le temps et l'espace (Östergren & Träff, 2013; Piazza, 2010). Ces systèmes sont présents chez l'enfant avant même le développement d'une compréhension symbolique des nombres et permettent de lui fournir une base d'appréhension des numérosités et des éléments qui l'entourent, favorisant par la suite le fait d'y rattacher des symboles comme les chiffres arabes et contribuent positivement aux performances mathématiques par la suite (C. K. Gilmore et al., 2010; Schneider et al., 2017).

## Estimer et comparer de faibles numérosités

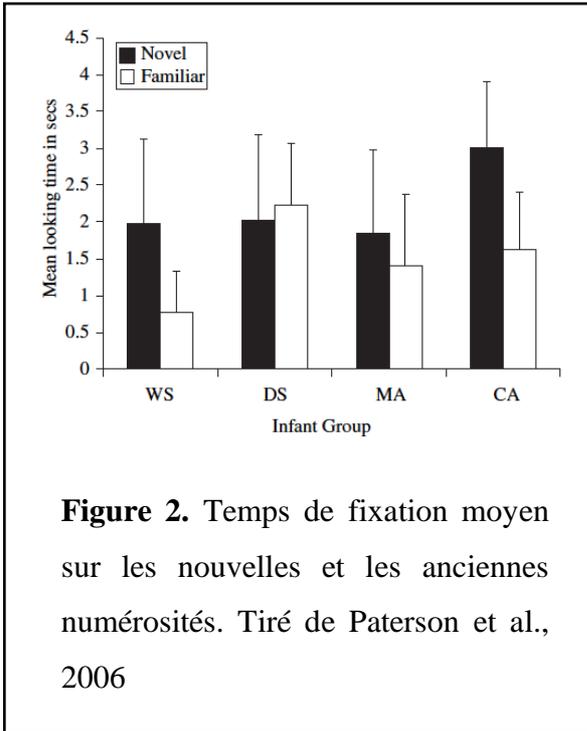
Plusieurs études ont montré que les bébés et les très jeunes enfants au développement typique avaient la capacité de discriminer entre elles des

numérosités faibles (Antell & Keating, 1983; Starkey & Cooper, 1980). L'hypothèse a donc naturellement été faite qu'il existait un système inné chez les humains, les rendant sensibles aux différences de numérosité (Piazza, 2010).

En 2006, Paterson et al. réalisent une étude composée de 3 expériences distinctes dont la première avait pour but de définir si des enfants avec le syndrome de Down ou de Williams âgés de 30 mois repèrent des différences dans les numérosités faibles et comment leurs performances se comparent à celles d'enfants au développement typique (Paterson et al., 2006). Ils utilisent pour cela un protocole qui consiste à présenter deux cartes simultanément à l'enfant, représentant un assortiment de 2 ou 3 objets. Après familiarisation, l'expérimentateur change les cartes et la première présentera l'ancienne numérosité, la seconde une nouvelle numérosité (Figure 1). Le temps de fixation de l'enfant sur les différentes cartes sera mesuré. Si l'enfant est capable de discriminer la nouvelle numérosité, il devrait normalement montrer un temps de fixation plus élevé sur cette carte, qui constitue un nouveau stimulus plus saillant pour lui.

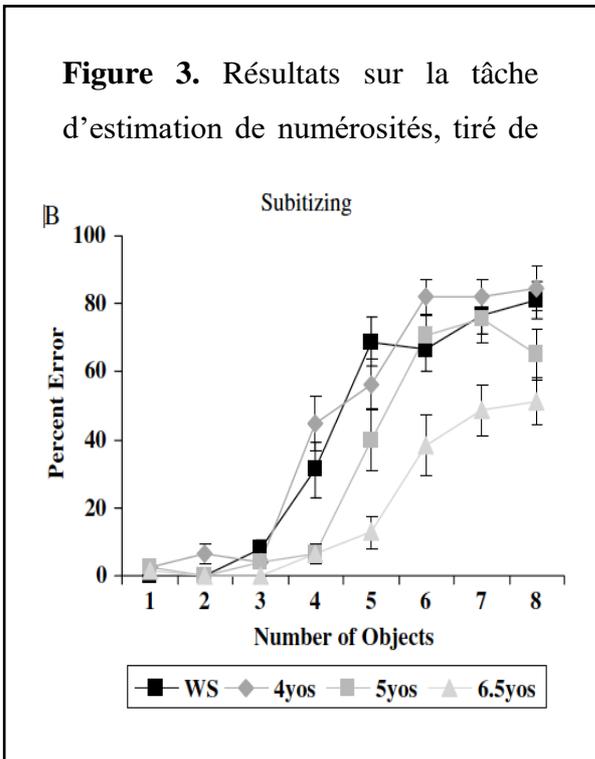


Les performances des enfants avec le SW n'est pas différente de celle des enfants du même âge chronologique qu'eux (environ 30 mois). Comme les enfants au développement typique de même âge chronologique, les enfants avec



le SW passent plus de temps à regarder la carte avec une numérosité différente. En revanche, les enfants avec le SD ne montrent pas de différence de temps de fixation entre les anciennes et les nouvelles numérosités (voir figure 2). Dans le cas de faibles numérosités, les jeunes enfants avec le SD, ne semblent donc pas parvenir pas à discriminer un changement de numérosité, alors que les enfants avec SW

en sont capables. D'autres études ont par la suite confirmé que les personnes avec le SW parvenaient à estimer et rapporter le nombre de points qui leur étaient rapidement présentés. Dans une étude menée sur des enfants et des adultes avec le SW entre 11 et 48 ans, le paradigme expérimental consistait à leur présenter rapidement des ensembles constitués de 1 à 8 carrés sur un écran et leur



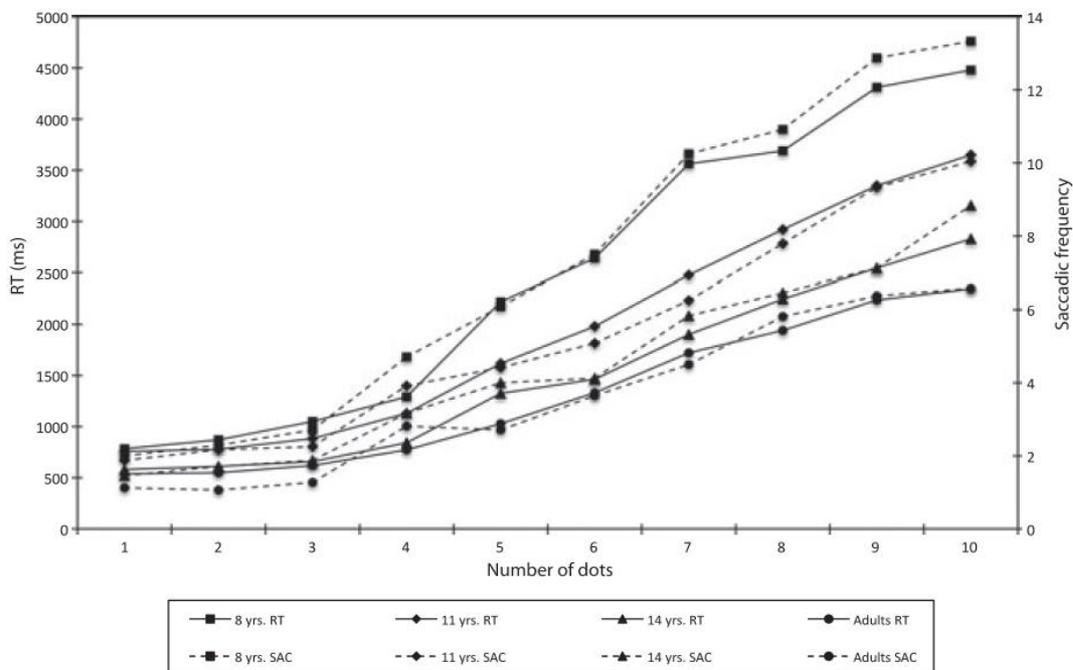
demandeur de rapporter le nombre de carrés qu'ils voyaient. Lorsque ce nombre se situe entre un et trois, ils ne faisaient pratiquement pas d'erreurs, tout comme des enfants au développement typique (Figure 3 pour les résultats) (O'Hearn et al., 2011).

Pour les personnes avec le SD, les résultats sont également cohérents avec une étude menée sur des enfants

avec le SD âgés de 14 ans. Lorsqu'il s'agit de comparer des numérosités faibles (i.e. entre 1 et 4) et d'identifier laquelle est la plus grande, les enfants avec le SD distinguent moins efficacement les différences de numérosités que les enfants au développement typique de même âge mental (environ 5 ans)(Sella et al., 2013). Plus encore, un sous-groupe constituant un tiers de leur échantillon de participants avec le SD a été retiré des analyses car leur pourcentage de réponses correctes ne dépassait pas le niveau de chance (50%) dans la condition « 1 VS 2 points ». En ce qui concerne le reste des participants avec le SD, le pourcentage de réponses correctes de ces participants commence à environ 90% pour les comparaisons entre 1 et 2 points, puis diminue d'environ 10% à chaque fois que le nombre de points à comparer augmente, alors que les performances des participants MA et CA demeurent entre environ 90 et 100% jusqu'à 4. Les auteurs concluent que les personnes avec le SD, dans le cas de comparaisons de numérosités, ne pourraient pas faire appel au système STO et utiliseraient de manière préférentielle le SNA, qui est normalement plutôt utile pour les numérosités plus élevées et permet l'estimation et le dénombrement approximatif des objets. Les personnes avec le SD opéreraient donc un dénombrement plus approximatif des objets qui leur sont présentés, ce qui ne leur permet pas de repérer de manière précise le changement de numérosité entre par exemple 2 et 3 points dans l'espace.

Dans le cas de plus faibles numérosités, entre 1 et 4, un autre processus appelé « subitisation » serait mis en jeu. En effet, à partir de 4 items ( $\pm 2$  en fonction des personnes et des études) le temps de réponse augmente fortement, ce que les chercheurs nomment « *slope of subitizing* » (Dehaene, 2000; Schleifer & Landerl, 2011; Trick & Pylyshyn, 1994). Une étude a notamment montré cette différence dans les temps de réaction, et dans le nombre de saccades oculaires, dont la fréquence indiquerait également une différence de traitement à partir de 4 (Figure 4).

**Figure 4.** Temps de réponse et fréquence de saccades oculaires en fonction du nombre de points devant être estimés. Tiré de Schleifer & Landerl, 2011.



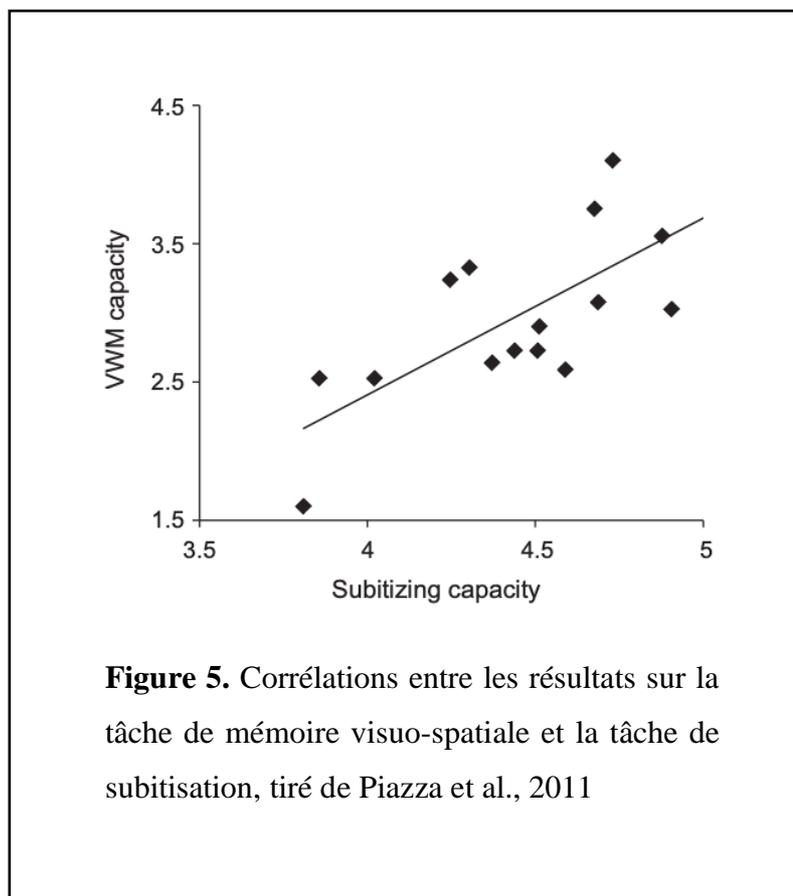
Les mécanismes sous-tendant la subitisation, c'est-à-dire ce qui fait que le traitement de ces faibles numérosités est différent et plus rapide et précis que celui de nombres plus élevés dans la population TD, n'ont pas pu être théorisés d'une manière communément acceptée. Deux théories sont néanmoins régulièrement discutées et opposées : la théorie des FINST (« *Fingers of Instantiation* ») ou théorie de l'indexation visuelle) de Trick et Pylyshyn (1994) qui définit la subitisation comme un mécanisme automatique. Il y aurait un nombre limité de « tokens » ou jetons pouvant être placés sur les objets, ce qui

expliquerait que ce mécanisme ne soit utilisé qu'entre un et quatre. Ces « tokens » sont comme des doigts virtuels qui permettent de pointer un objet, permettant de le suivre dans l'espace sans avoir à le compter. Pour pouvoir suivre un objet de plus, il faudrait retirer un token (ou doigt) et le placer sur le nouvel objet pour pouvoir le suivre. La théorie des FINST serait une composante au service du STO, qui permettrait ce suivi des objets. La seconde théorie est celle de Mandler et Shebo (1982) selon laquelle la reconnaissance des numérosités entre 1 et 4 serait facilitée par le fait que les points devant être énumérés forment le plus souvent des arrangements reconnaissables. Un point est le plus facilement reconnaissable, deux points lorsque reliés forment une ligne, trois points forment un triangle et 4 points forment un carré. Cela permettrait donc une estimation plus rapide et efficace des numérosités inférieures ou égale à 4, sans avoir à les compter lorsque l'on sait qu'un carré à 4 côtés, qu'un triangle a 3 côtés etc. Dans ce cas, cette théorie pourrait rejoindre la question des capacités visuo-spatiales de nos deux populations que nous avons précédemment mentionnées. Cependant, étant donné les déficits dans la localisation des éléments dans l'espace relevée chez les personnes avec le SW, si cette théorie est exacte, ils devraient logiquement être en plus grande difficulté avec des numérosités faibles, or ce n'est pas le cas. Il se peut donc que cette théorie ne soit pas applicable aux populations spécifiques étudiées dans ce travail, mais elle n'en reste pas moins intéressante dans le cas des individus neurotypiques.

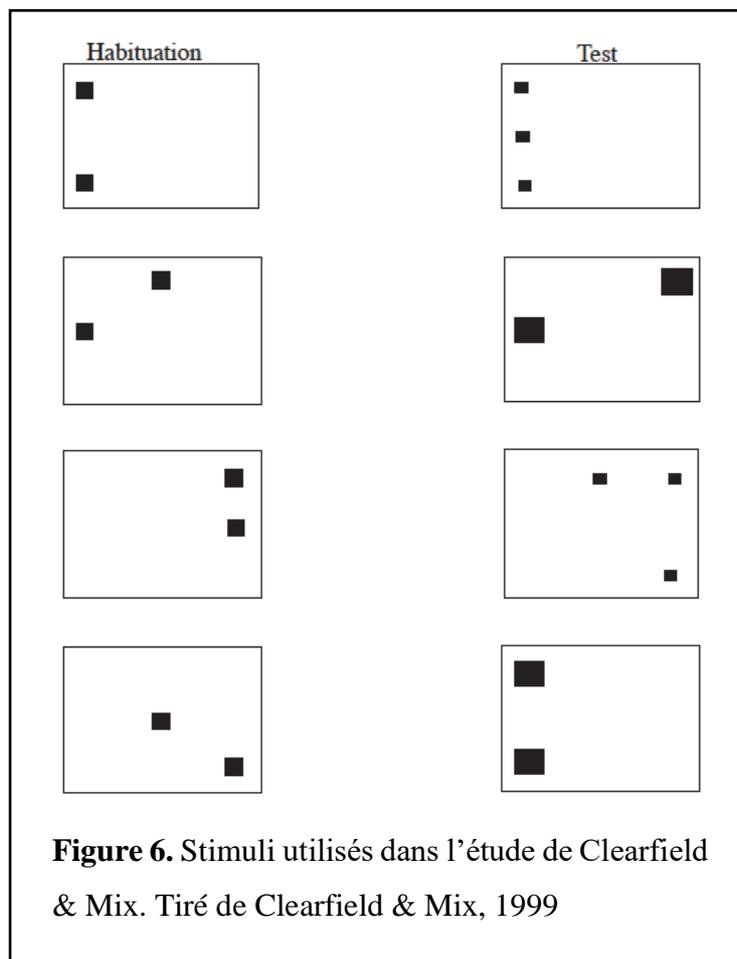
Le fait de diviser le traitement des numérosités de 1 à 4 et celui des numérosités à partir de 5, et supposer qu'il s'agit de mécanismes différents sur la base d'une différence de pente dans les temps de réaction, fait débat. Certains chercheurs proposent qu'il pourrait s'agir d'un seul type de traitement, qui varierait en efficacité en la présence de facteurs facilitants comme les formes que peuvent prendre les arrangements de points (Katzin et al., 2019). La vitesse de réponse pour l'estimation des chiffres entre 1 et 4 augmente bel et bien, moins que pour les chiffres plus élevés, mais elle augmente. Certains auteurs suggèrent donc qu'il s'agirait du passage entre un mécanisme d'estimation instantanée de petits nombres d'objets, au comptage, qui prendrait davantage de temps à être réalisé (Dehaene, 2000).

Il est néanmoins possible de relever que les capacités d'appréhension des numérosités faibles, appelées « subitisation », semblent initialement déficitaires chez les personnes avec le SD et non chez les personnes avec le SW et qu'il semble donc exister une différence entre celles-ci. Pour expliquer cela, les auteurs font le plus souvent référence aux théories du SNA et du STO, suggérant que le SNA serait déficitaire chez les personnes avec le SW, et que les personnes avec le SD ne parviendraient pas à mettre à profit le STO. Dans notre cas, il convient alors d'examiner le lien que ces deux systèmes entretiennent avec les capacités visuo-spatiales. Ces dernières faisant partie des capacités relevées dans la recherche comme différenciant les personnes avec le SW et celles avec le SD. Les auteurs d'une étude ont testé des enfants au développement typique sur diverses tâches, dont des tâches faisant appel aux capacités visuo-spatiales, des comparaisons de numérosités élevées (entre 5 et 32) et des exercices d'arithmétique sous la forme de soustractions à deux chiffres. A l'issue de cette étude, ils réalisent des analyses statistiques notamment par des modèles de régressions hiérarchiques. Ils retrouvent en effet une association entre le SNA et les capacités arithmétiques. Ils constatent également que la mémoire visuelle à court terme est liée de manière importante aux performances sur les tâches associées au SNA et sur la tâche de soustractions (Zhang et al., 2019). Une autre étude a montré un lien important entre les capacités de subitisation et les capacités visuo-spatiales (Piazza et al., 2011). Les auteurs administrent une tâche d'estimation de numérosités avec entre 1 et 8 points, une tâche de comparaison de numérosités avec entre 10 et 44 points, et une tâche de mémoire visuo-spatiale. Cette dernière consiste en un dispositif similaire aux tâches de comparaisons de points. Un arrangement de points était présenté aux participants, puis un autre, et les participants devaient juger s'il s'agissait du même que celui qui leur avait été présenté auparavant. Dans la moitié des essais, la couleur d'un des points changeait. Les auteurs relèvent une corrélation importante entre les capacités de subitisation et la mémoire visuo-spatiale chez des sujets neurotypiques. (Figure 5)

Ces résultats contrastent avec les observations qui ont été faites via les expériences de comparaisons de numérosités. En effet si les capacités de subitisation sont effectivement liées aux habiletés visuo-spatiales, il serait alors attendu de la part de nos groupes cliniques que les personnes avec le SD performant mieux que les personnes avec le SW sur ces tâches aux numérosités faibles. Or, c'est plutôt l'inverse qui est observé. Il semblerait alors que ces observations réalisées sur des populations au développement typique ne correspondent pas aux résultats retrouvés sur des populations aux troubles neurodéveloppementaux comme celles qui nous intéressent ici, ou alors qu'il existe des capacités qui permettraient de compenser ces déficits chez les personnes avec le SW.



Certains auteurs mettent d'autre part en lumière un point méthodologique important qui devrait être pris en compte dans les futures études impliquant des comparaisons de numérosités. En effet, les auteurs relèvent l'importance de contrôler les variables telles que l'aire occupée par les stimuli et la longueur des contours des points car ces caractéristiques pourraient donner des indices visuels n'étant pas liés aux questions de numérosité étudiées (Clearfield & Mix, 1999; Feigenson et al., 2002; Van Herwegen et al., 2008). En effet, il a été mis en avant le fait que même les enfants TD n'arriveraient en fait pas à discriminer les numérosités faibles lorsque ces variables sont contrôlées.



L'expérience consiste à mesurer le temps de fixation d'enfants de 6 à 8 mois, lorsque deux ensembles de carrés leur sont présentés (Figure 6). Dans une première condition, les deux ensembles comptent le même nombre de carrés, mais la longueur totale des contours varie. Dans une deuxième condition, le nombre de carrés change mais la longueur totale des contours reste la même. Les enfants regardent plus longtemps le nouvel ensemble de carrés lorsque c'est la

longueur des contours qui varie, mais pas lorsque le nombre de carrés varie (Clearfield & Mix, 1999). Dans le cas de faibles numérosités, les enfants sembleraient donc prêter plus attention aux changements relevant de la longueur des contours, qui fait elle-même varier d'autres indices tels que la masse des éléments ou la luminosité de l'écran. Les résultats sont les mêmes pour des enfants entre 10 et 12 mois. (Feigenson et al., 2002). Il semble alors que la représentation de « plus » chez les enfants, est davantage influencée par la masse des éléments, plutôt que leur nombre.

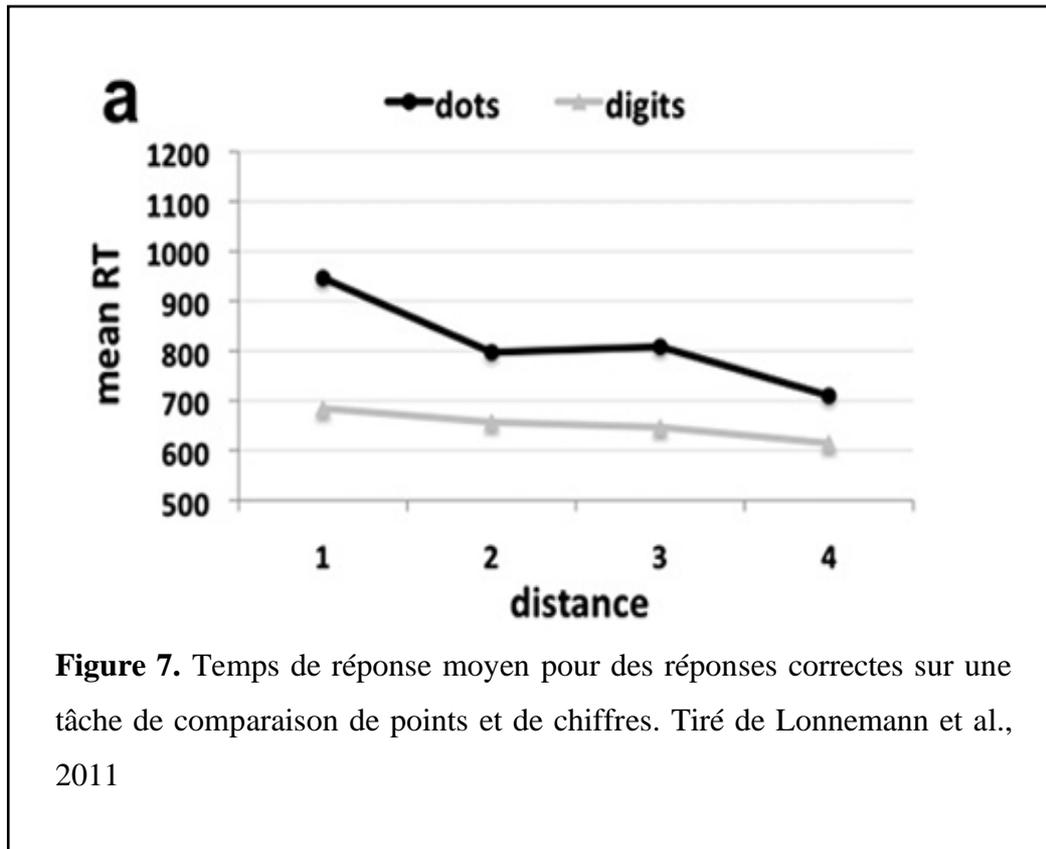
Les performances des enfants pour de faibles numérosités pourraient alors témoigner d'une reconnaissance visuelle plutôt qu'une reconnaissance des attributs numériques de quantité de ces points. Les résultats des enfants avec le SW sur les numérosités faibles peuvent donc être remises en cause (Van Herwegen et al., 2008). Contrôler ces variables dans les futures études est donc primordial. Cependant, il est possible que ce contrôle efface les différences reportées entre SD et SW. Toutefois, la présence de ces autres informations (aire, masse, longueur des contours) ne permet pas aux personnes avec le SD de reconnaître ces changements, alors que les enfants TD et les personnes avec le SW y parviennent. Ce qui nous intéresse ici, est que, même dans les études où ces facteurs de masse et de longueur de contours ne sont pas contrôlés, ceux-ci devant faciliter l'appréhension des numérosités, ne sont pas pris en compte par les personnes avec le SD. Ils n'arrivent pas à les percevoir ou à les utiliser pour reconnaître ces numérosités. Les entités numériques ne semblent donc pas considérées comme des objets individualisés et leurs caractéristiques ne semblent pas reconnues.

## Estimer et comparer des numérosités élevées

### L'effet de distance

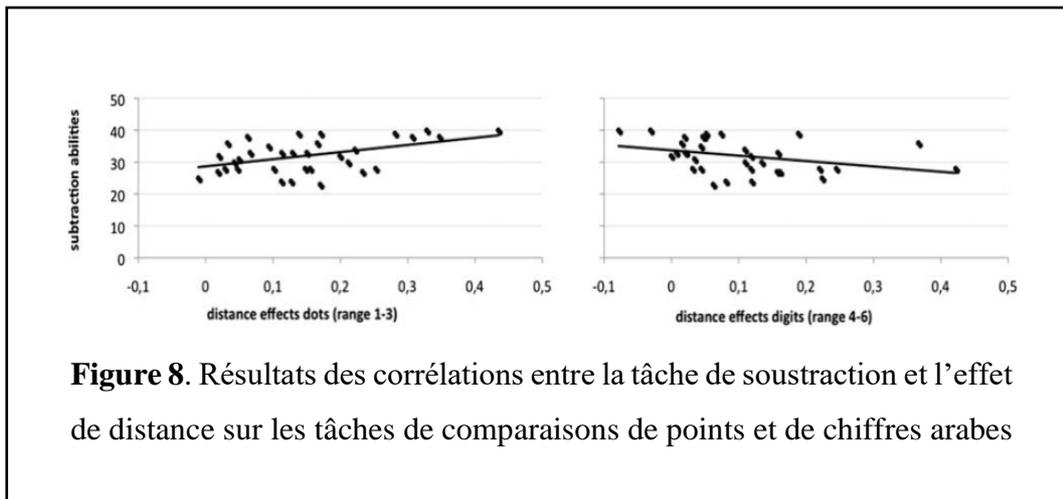
Lors d'études concernant les comparaisons de numérosités élevées (au-delà de 4), une des questions à laquelle les chercheurs souhaitent parfois répondre est de voir si les participants montrent des signes de l'Effet de Distance Symbolique (EDS; « *Symbolic Distance Effect* »). L'effet de distance symbolique désigne le fait que, dans une tâche de comparaison, le temps de

réponse diminue avec l'augmentation de la distance entre les deux symboles référents (Moyer & Bayer, 1976; Moyer & Landauer, 1973). Cet effet est visible dans les tâches de comparaison de numérosités non-symboliques (Lonnemann et al., 2011) (Figure 7) et dans certains cas, dans des tâches de comparaisons de numérosités symboliques (Moyer & Landauer, 1967). Il semble que cet effet soit particulièrement visible chez les enfants, et que son importance diminue avec l'âge (Duncan & McFarland, 1980).



Bien que l'effet de distance soit parfois considéré comme un indicateur important d'un développement des représentations des nombres et des capacités arithmétiques normal, il semble ne pas y avoir de consensus à ce sujet dans la recherche. Dans une étude, les chercheurs font passer une tâche de comparaisons de chiffres arabes, et une tâche de comparaisons de points et vont ensuite comparer les corrélations possibles avec les résultats qu'ils obtiennent sur un ensemble d'opérations de soustraction et d'addition. Lors des tâches de comparaisons pour les chiffres, l'effet de distance est négativement corrélé à la tâche de soustraction, c'est-à-dire qu'un effet de distance plus important sur une tâche de comparaison de chiffres arabes est lié à des performances moins bonnes

sur les tâches de soustractions (Figure 8). Lorsqu'il s'agit de l'effet de distance issu de la comparaison des points, en particulier lorsqu'il s'agit de faibles numérosités (1-3 points), l'effet est inverse : un effet de distance plus important lors de tâches de comparaisons de points est lié à de meilleures performances sur la tâche de soustraction (Lonnemann et al., 2011).



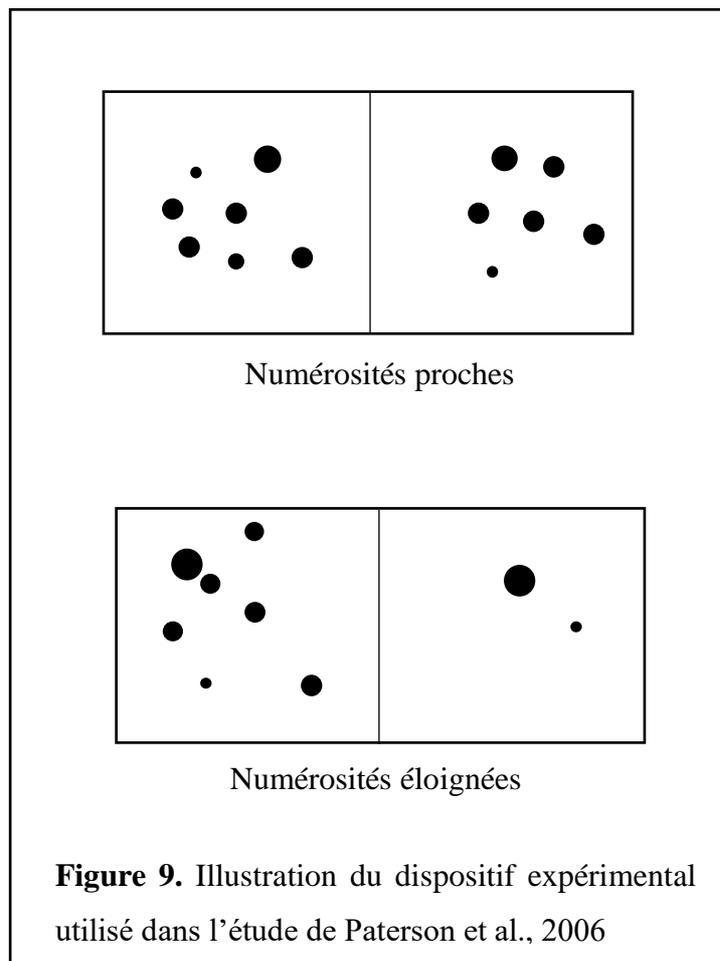
**Figure 8.** Résultats des corrélations entre la tâche de soustraction et l'effet de distance sur les tâches de comparaisons de points et de chiffres arabes

Lors d'une étude sur des enfants ayant des difficultés d'apprentissages des mathématiques, (Rousselle & Noël, 2007) les auteurs relèvent que ces participants montraient des effets de distance moins marqués que les participants avec des performances typiques. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait qu'un tiers des enfants avec des déficits en mathématiques montraient des effets de distance et de taille inversés (de meilleures performances avec des numérosités élevées et meilleures performances dans le cas de distances faibles entre les numérosités) qui ont pu contribuer à la diminution de la taille d'effet générale des effets de distance. Les auteurs suggèrent que ces effets de taille et de distance inversés pourraient être dû au fait que les enfants récitent les nombres mentalement pour trouver la réponse. Au contraire, dans une autre étude, l'association entre un effet de distance plus marqué et les capacités mathématiques n'est pas retrouvée (Holloway & Ansari, 2009). Lors de l'étude de Lonnemann et al., (2011), les comparaisons de petites numérosités et de numérosités plus élevées ont été considérées de manière indépendante, ce qui peut avoir fait ressortir cette interaction entre l'effet de distance et les tâches de soustraction. Il ressort de ces études que l'effet de distance et son lien avec les

performances en mathématiques n'est pas tout à fait clair à ce jour. Un effet de distance plus marqué est parfois considéré comme associé à de meilleures performances sur des tâches liées aux mathématiques, et parfois cet effet n'est pas retrouvé. Cependant, ce qui semble davantage intéressant est que des effets de distances inversés sont relevés dans des populations présentant des difficultés marquées en mathématique, ce qui soulève la question d'un traitement atypique de ce genre de tâches. Ce que certains auteurs attribuent à une tendance à compter les points plutôt qu'à effectuer une estimation.

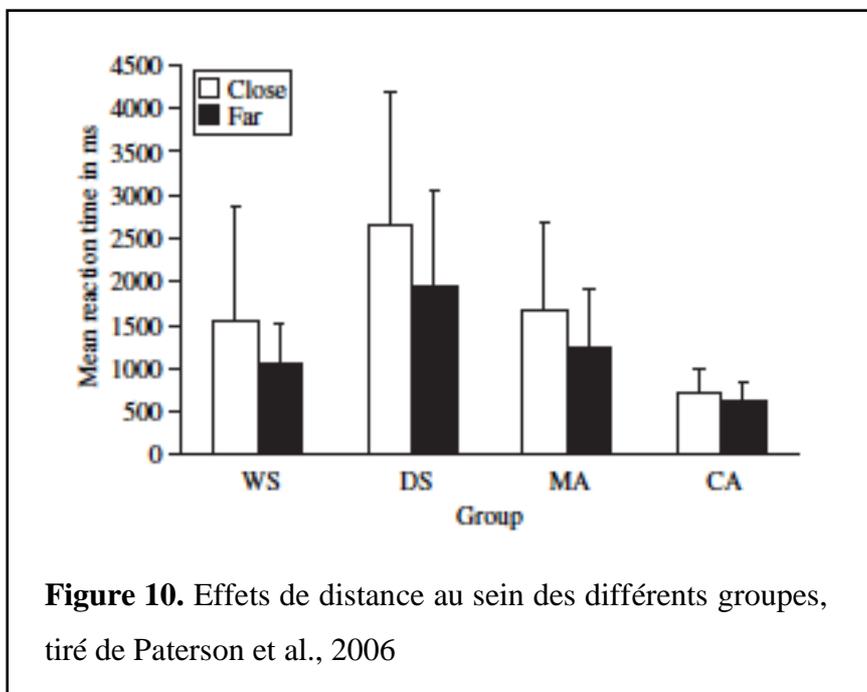
#### Traitement des numérosités élevées

Paterson et al. (2006) se penchent sur le cas d'enfants et adultes avec le syndrome de Down et de Williams entre 10 et 35 ans (moyenne d'âge à 20 ans pour les personnes avec le SW et 24 ans pour les personnes avec le SD) sur une tâche de comparaisons de numérosités classique.



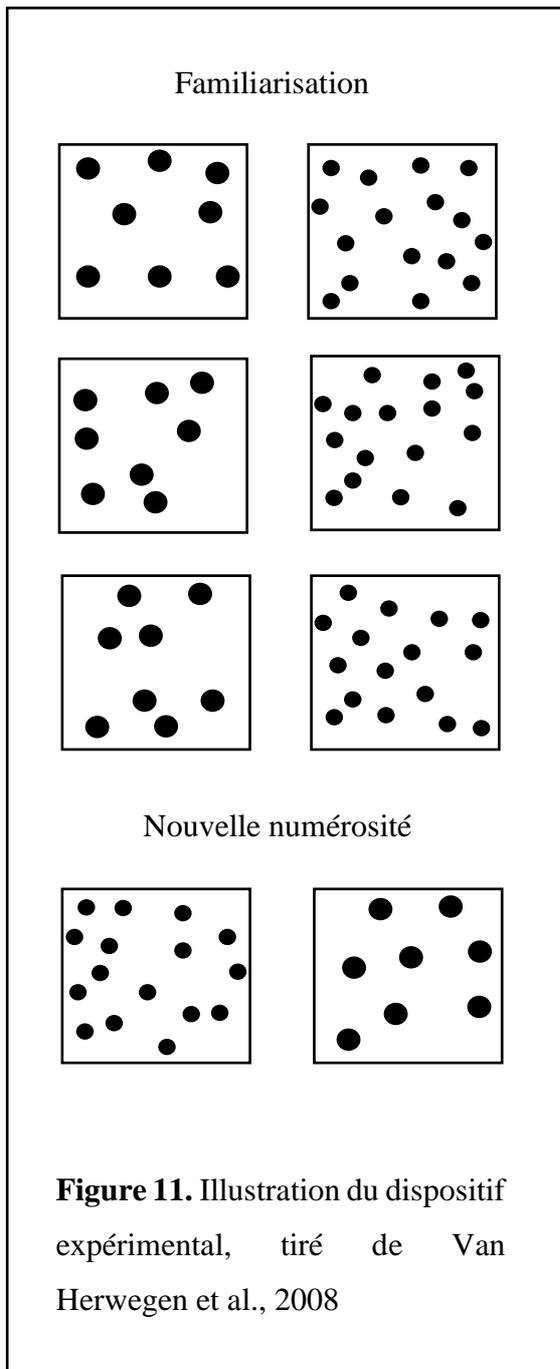
Deux assortiments de points sont présentés simultanément sur un écran, et les participants doivent indiquer lequel contient le plus de points. Les différences de numérosités des points étaient soit proches, avec une différence de 1, 2 ou 3 soit éloignées, avec une différence de 5, 6 ou 7 (Figure 9).

Les participants avec le SD mettent plus de temps à répondre que les participants avec le SW et les enfants au développement typique, mais ils montrent un effet de distance robuste et une meilleure précision dans leurs estimations que les participants avec le SW. Seul 50% des participants avec le SW montrent cet effet de distance, contre 71% des participants avec le SD. Lorsque les différences de temps de réaction sont prises en compte, l'effet de distance peut être observé chez les personnes avec le SW mais de manière peu marquée (Figure 10). Certains participants de ce groupe montrent parfois une tendance vers un effet de distance inversé (i.e. un temps de réaction plus élevé lorsque les numérosités sont plus éloignées), ce qui peut suggérer que les participants récitent les nombres pour répondre à la question. Cela pourrait également expliquer les difficultés à observer l'effet de distance dans ce groupe. Le groupe avec le SW est également celui qui obtient la moins bonne précision de tous les groupes.



Cette différence ne peut pas être expliquée par des capacités cognitives générales déficitaires étant donné que les participants avec le SW montraient un

âge mental légèrement plus élevé que les participants avec le SD. Les auteurs argumentent que ces résultats pourraient montrer une moins bonne représentation des magnitudes des nombres chez les personnes avec le SW. Les personnes avec le SD montrent donc des temps de réactions plus lents mais des représentations plus précises et un effet de distance davantage similaire aux enfants au développement typique.



Les estimations de numérosités élevées des personnes avec le SD sont elles aussi plus proches de celles des enfants au développement typique que les personnes avec le SW. Une étude étaye cette hypothèse en relevant que les personnes avec le SD montrent comme cela a déjà été observé précédemment, un déficit dans les comparaisons de numérosités faibles entre 1 et 4, qui feraient appel à la subitisation. Cependant, ces mêmes participants montrent des performances comparables à celles des enfants au développement typique de même âge mental dans la comparaison de numérosités plus élevées (i.e. à partir de 4-5) (Abreu-Mendoza & Arias-Trejo, 2015; Karmiloff-Smith et al., 2012; Sella et al., 2013). Des performances comparables à celles d'enfants TD de même âge chronologique sont même parfois

rapportées (Camos, 2009). Dans cette étude, des comparaisons entre 8 et 12, et

8 et 16 points sont présentées aux participants dans de petits livrets. Les participants avec le SD montraient davantage de difficultés lorsque le ratio entre les numérosités était plus faible (i.e. la comparaison entre 8 et 12). Néanmoins leurs performances générales étaient similaires aux enfants de même âge mental et chronologique. En ce qui concerne les individus avec le SW, d'autres études mettent en lumière ces résultats déficitaires. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les enfants avec le SW sont capables de repérer des changements de numérosités faibles (i.e., entre 1 et 4). Dans une étude analysant les temps de fixation de jeunes enfants avec le SW sur des ensembles de 8 et 16 points. Ils réalisent 9 essais de familiarisation avec par exemple 8 points, puis, changeront le nombre de points et en afficheront 16. Ils relèvent ensuite les temps de fixation des participants au moment du changement de numérosité (Figure 11). Les auteurs ne repèrent aucune différence de fixation et donc aucune discrimination entre l'ancienne numérosité et la nouvelle chez les enfants avec le SW (Van Herwegen et al., 2008) alors que sur le même type de dispositif, les enfants TD aussi jeunes que 6 mois vont davantage fixer la nouvelle numérosité (Xu & Spelke, 2000).

Ces différentes études mettent en lumière une différence de traitement des tâches de comparaison et des représentations des magnitudes non-symboliques chez les personnes avec le SW, qui suivraient un développement atypique, en comparaison des individus avec le SD et les enfants TD. Rousselle et al. (2013) testeront des participants avec le SW sur des ensembles de petites formes affichées sur un écran et leur demanderont lequel en contenait le plus, en faisant varier les ratios et le nombre de formes (compris entre 5 et 14). Dans cette étude, les auteurs calculeront les fractions de Weber. Ils le définissent comme un indice d'acuité numérique, représentant « le plus petit changement de magnitude pouvant être détecté par les personnes ». Ils constatent que les fractions de Weber calculées pour les personnes avec le SW étaient plus élevées que pour les enfants au développement typique. Ils détectent donc plus difficilement les changements dans cette gamme de numérosités. Par ailleurs, ils constateront que cette difficulté s'étend également aux comparaisons de longueurs de lignes et aux sons.

Certes, les participants avec le SW parviennent à repérer les changements de numérosités faibles, mais peinent à les différencier lorsque le nombre de points dépasse 4 et tendent à montrer des effets de distance atypique, moins marqués et parfois même inversés. Les personnes avec le SD montrent un pattern de compétences inverse ; ils ne parviennent pas à repérer les changements dans les numérosités faibles, mais ont des performances relativement préservées lorsqu'il s'agit de numérosités élevées. Ils ne montrent a priori pas non plus de patterns d'effet de distance inversés ou différent de celui des enfants au développement typique.

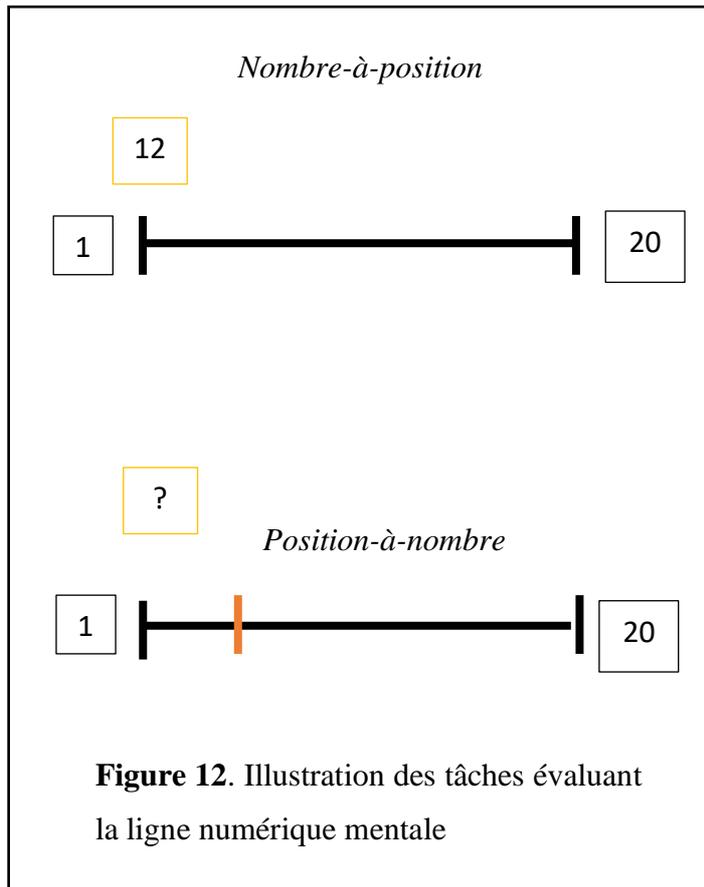
En somme, si nous demandions à des enfants avec le SW de choisir la main ouverte dans laquelle nous avons le plus de bonbons, avec 2 bonbons dans l'une et 3 dans l'autre, ils seraient probablement capables de choisir facilement celle qui leur garantirait un maximum de sucreries. Les enfants avec le SD n'auraient potentiellement pas la même facilité. Si maintenant une plus grande quantité de bonbons leur sont présentés, par exemple 6 dans une main et 11 dans l'autre, les enfants avec le SD seraient plus performants que les enfants avec le SW. Si maintenant, le nombre de bonbons des deux mains était moins éloigné, prenons 6 VS 8, des enfants au développement typique et les enfants avec le SD prendraient plus de temps à choisir, mais auraient plus de chance de choisir la bonne main, alors que les enfants SW ne feraient pas de différence et choisiraient potentiellement la mauvaise main plus fréquemment à cause de leur moins bonne précision générale à ce type de tâches.

Il est intéressant de constater que les représentations des numérosités dépendent donc du nombre d'éléments présentés et de la manière dont ils sont présentés. En ce qui concerne les représentations des magnitudes de nombres symboliques, il existe un concept illustrant ce traitement, souvent relié à la question des performances de représentation des numérosités : *la ligne numérique mentale*.

### La ligne numérique mentale

Une des théories majeures visant à expliquer la manière dont les individus représentent les nombres les uns par rapport aux autres est la *ligne numérique*

*mentale*. Cette théorie, proposée par Stanislas Dehane (2000) se base sur le fait que les nombres ne suggèrent pas uniquement des questions de quantités en soi, mais également de quantités relatives entre elles. Les nombres seraient représentés dans notre esprit sur une ligne, les nombres plus petits sur la gauche et les nombres plus élevés sur la droite. Cette image permettant de faire sens des différences de magnitudes ferait l'objet d'une compréhension tacite, en tout cas



en ce qui concerne les populations lisant et écrivant de gauche à droite, bien que cela ait également été observé au sein du règne animal (Giurfa et al., 2022). La tâche qui permet de tester cette représentation est appelée l'Estimation de la Ligne Numérique (ou ELN).

Elle consiste à demander au participant soit de placer une série de nombres sur une ligne vide, cette variation est appelée « *nombre-à-position* », soit d'énoncer quel nombre devrait se trouver à une position spécifique sur la ligne, cette variation est appelée « *position-à-nombre* » (voir Figure 12 pour une illustration du dispositif). Cette représentation mentale des chiffres serait importante pour le développement et l'évolution des capacités arithmétiques,

telles que le comptage, les performances scolaires et les capacités mathématiques plus complexes. Une méta-analyse récente, prenant en compte 41 articles et 10'576 participants, a obtenu une corrélation de  $r = .443$  entre les compétences mathématiques et la ligne numérique mentale ; une corrélation moyenne qui indique tout de même une association importante (Schneider et al., 2018).

Quelques études ont exploré les performances de personnes avec le SD et SW sur des tâches de ELN. Simms et al. (2020) ont récemment étudié les résultats de ces deux populations, en lien avec les capacités mathématiques, les capacités visuo-spatiales et la familiarité des nombres évaluée par des tâches de comptage en avant et en arrière. Les performances des individus avec le SD, le SW et les individus TD appariés selon l'âge mental sont similaires sur une tâche de ELN de « *nombre-à-position* » avec des lignes entre 0 et 10 et entre 0 et 100. Les performances sur la ELN étaient associées aux compétences mathématiques pour tous les groupes. En revanche, la familiarité des nombres (évaluée par une tâche de comptage entre un et vingt) était corrélée positivement aux performances sur la ELN uniquement pour les participants avec le SW et TD. Les capacités visuo-spatiales étaient corrélées positivement avec les performances sur la ELN uniquement pour les participants avec le SD et TD. Il existe également une corrélation entre la familiarité des nombres et les échelles entre 0 et 100 pour les personnes avec le SD. Ces résultats suggèrent que malgré des performances globales similaires, les personnes avec le SD et les personnes avec le SW utilisent des processus différents pour résoudre la tâche. Donc, la familiarité des nombres corrèle avec les tâches d'ELN entre 0 et 100 pour tous les groupes. Pour les tâches entre 0 et 10, les mesures qui corrélaient différemment ; Les performances des personnes avec le SD sont davantage associées à leurs capacités visuo-spatiales et celles des personnes avec le SW vont davantage corréler avec leur familiarité des nombres. D'autres études ont également suggéré que les individus avec le SD performaient d'une manière cohérente avec leur âge mental, et qu'ils suivaient donc le même pattern en matière de ELN que les enfants TD d'âge mental similaire (Lanfranchi et al., 2022). Les auteurs relèvent ici également que cette capacité chez les personnes avec le SD est liée à leur capacité à reconnaître les chiffres arabes et ne trouvent aucun lien avec les

capacités visuo-spatiales. Cette étude diffère en cela de celle réalisée par Simms et al. dans laquelle il était relevé non pas un lien avec la familiarité des nombres mais avec les capacités visuo-spatiales au sein de cette population. Cependant, lors de cette dernière, des lignes numériques entre 0 et 100 étaient présentées aux enfants, alors que celle de Lanfranchi et al. (2022) n'incluait que des intervalles entre 1 et 10 et entre 1 et 20. Il n'est donc pas impossible que ces différences soient dues à l'utilisation différenciée de stratégies en fonction des demandes de la tâche et que celles-ci ne soient pas traitées de la même manière.

Il semble exister un écart entre les conclusions de ces deux études. Les résultats de l'étude de Simms et al., (2020) semblent indiquer que sur des ELN entre 0 et 10, les personnes avec le SD sont principalement liées à leurs capacités visuo-spatiales et non la familiarité des nombres, et qu'entre 0 et 100, ces deux habiletés seraient liées aux résultats. L'étude de Lanfranchi et al., (2022) ne parvient pas à établir de relation avec les capacités visuo-spatiales que ce soit sur des ELN entre 1 et 10 ou entre 1 et 20, mais relève une corrélation avec la reconnaissance des chiffres arabes. Cette discordance entre les études souligne la nécessité d'une analyse plus approfondie des liens que ces différentes capacités entretiennent avec la ELN dans cette population. Il existe des différences dans les dispositifs de ces deux études qu'il convient de relever. Notamment l'âge des participants qui est différent dans les deux études. L'étude de Lanfranchi et al. inclut des participants allant de 8 à 49 ans, tandis que dans celle de Simms et al. l'âge moyen des participants tourne autour des 10 ans. Il n'est pas impossible que la mise à profit de certaines capacités soit dépendante de l'âge dans ces populations. Par exemple, le fait que les participants soient plus âgés, peut signifier qu'au fil du développement, les personnes avec le SD acquièrent en expertise dans la familiarité des nombres, ce qui leur permettrait de se reposer davantage sur cette capacité plutôt que sur les capacités visuo-spatiales, ce qui expliquerait ce résultat.

Alors que les études précédentes ne relevaient pas de différences visibles entre les performances des personnes avec le SW, le SD et les personnes au développement typique, une étude de Opfer et Martens (2012) a évalué les performances d'individus avec le SW sur la ELN et relèvent un niveau plus bas que les enfants TD du même âge mental. Cependant, ils ont testé ces populations

sur des échelles entre 0 et 1000, ce qui se situe bien au-delà des capacités des personnes avec le SW, en tout cas en matière de comptage. Il semble alors que le succès sur cette tâche pourrait fortement dépendre de l'intervalle présenté aux participants (voir Figures 13 et 14 pour un récapitulatif).

		0-10			0-100		
		Compétences mathématiques	Familiarité des nombres (comptage)	Visuo-spatial	Compétences mathématiques	Familiarité des nombres (comptage)	Visuo-spatial
Simms et al., 2020	TD	X	X	X	X	X	X
	SD	X		X	X	X	X
	SW	X	X		X	X	

**Figure 13.** Tableau récapitulatif des corrélations retrouvées entre les performances sur la ELN et différentes capacités, informations tirées de Simms et al., 2020

		1-10	1-20
Lanfranchi et al., 2022	TD	-	Correspondance mots-nombres
	SD	Correspondance mots-nombres	Comparaison de points Comparaison de chiffres arabes Comptage en avant

**Figure 14.** Tableau récapitulatif des corrélations retrouvées entre les performances sur la ELN et différentes capacités, informations tirées de Lanfranchi et al., 2022

Malgré certaines divergences dans les résultats des différentes études, un pattern intéressant se détache concernant nos populations cliniques. La tâche d'Estimation des Lignes Numériques semble refléter dans ces deux populations des habiletés différentes. Les personnes avec le syndrome de Williams, ayant des capacités visuo-spatiales déficitaires, semblent se reposer sur leur familiarité des nombres relativement préservée. Les performances des personnes avec le SD corrélerent dans certains cas à la fois avec leurs capacités visuo-spatiales, et sur les lignes entre 1 et 20 et entre 0 et 100, avec les capacités de comptage. Dans l'étude de Simms et al. (2020) en particulier, il ressort que les performances des participants issus des groupes cliniques sont clairement associées aux domaines de compétences relativement préservées dans ces populations (i.e. les capacités visuo-spatiales pour les personnes avec le SD et la familiarité des nombres pour les personnes avec le SW). Il convient également de constater que dans la grande majorité des cas lors des différentes études et sur les différentes échelles, la connaissance des nombres est associée de manière importante au succès sur la tâche d'Estimation de la Ligne Numérique. Que ce soit au travers du comptage ou de la correspondance entre mots et nombres. Au travers de la connaissance des chiffres et du comptage, les participants acquièrent donc la capacité de les représenter les uns par rapport aux autres. Ce qui leur permet d'estimer au mieux où placer le nombre sur la ligne numérique mentale.

## Le comptage

L'un des premiers apprentissages réalisés par les enfants permettant de développer leurs capacités arithmétiques est celui du comptage (Long et al., 2016; Stock et al., 2009), c'est-à-dire le dénombrement de différents éléments et l'apprentissage des principes régissant celui-ci. Certains auteurs suggèrent que des principes implicites existeraient avant même l'apprentissage formel du comptage. Ils sont entendus comme implicites car il régissent de manière systématique le comportement de comptage des humains (Gelman, 1973; Gelman & Meck, 1983). Cette hypothèse est notamment mise en avant par le fait que des enfants en âge préscolaire de 3 et 4 ans parviennent sans difficulté à détecter et signaler une violation des principes de comptage faite par une poupée

devant eux. Dans cette étude, les enfants vont observer une poupée qui comptera devant eux des ensembles de 6 et 12 objets. L'étude est réalisée en 3 parties et concerne les principes de correspondance terme-à-terme, l'ordre stable et la cardinalité. De manière générale, le taux de réponses correctes (d'erreurs correctement détectées et signalées) se trouve entre 67 et 100%, ce qui indique que chez ces jeunes enfants, les principes de comptage sont déjà relativement bien intégrés. D'autres auteurs proposent que les enfants se familiarisent avec le comptage et les nombres par observation de l'entourage utilisant ces capacités dans différents contextes, ce qui permet de généraliser les principes qu'ils utilisent par la suite (Fuson, 1988). Par exemple, lors de plusieurs recherches, il a été constaté que l'utilisation de nombres dans les conversations de parents avec leurs enfants influençait positivement à la fois la connaissance des nombres, mais aussi la compréhension de la cardinalité des enfants (Gunderson & Levine, 2011; Levine et al., 2010). A l'issue de retranscriptions régulières des interactions entre les parents et leurs enfants, il ressort que l'exposition à des conversations contenant des nombres élevés (entre 4 et 10) était un prédicteur de meilleures performances sur les tâches de cardinalité. Ces deux visions ne sont cependant pas mutuellement exclusives. (Fuson, 1988; Wynn, 1990). Il n'est pas impossible que les enfants naissent avec une certaine conception des concepts relatifs aux nombres mais que l'environnement et l'exposition aux nombres leur permettent d'acquérir le vocabulaire nécessaire et des exemples d'utilisation, importants pour la compréhension explicite de ces principes qui les régissent.

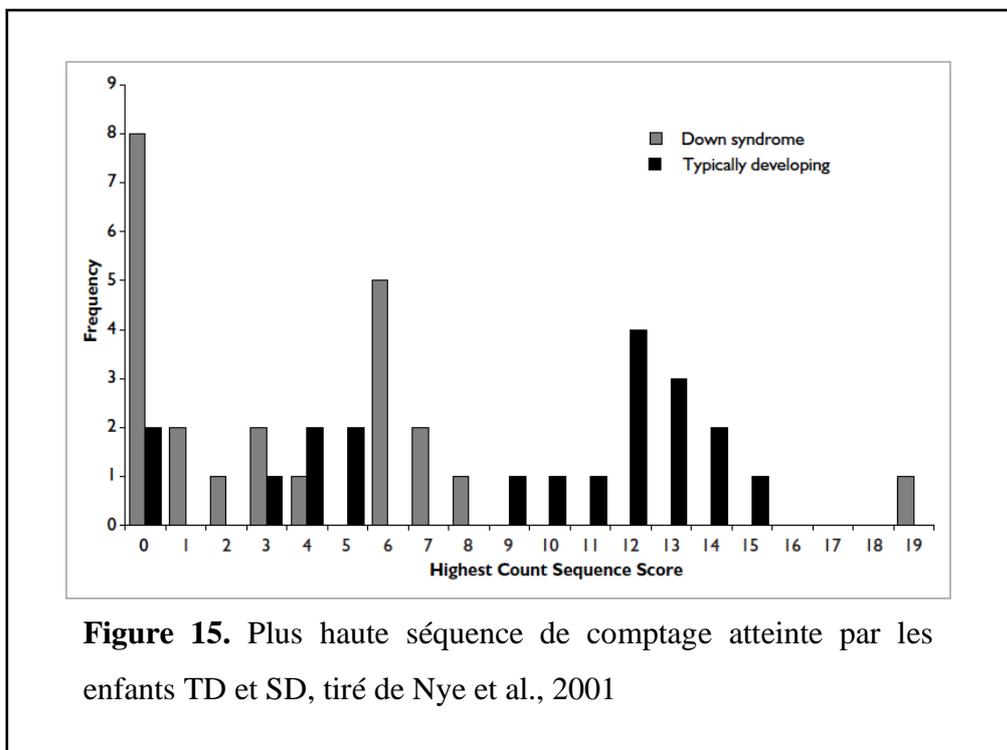
Gelman conceptualise 5 principes qu'il est nécessaire d'acquérir dans le but de compter : le **correspondance terme à terme**, qui décrit comment un seul mot-nombre correspond à chaque item compté. Il n'est donc pas possible d'assigner le mot-nombre « un » au premier item compté, puis à nouveau au second item compté, il faut lui assigner le mot-nombre « deux ». Le deuxième principe est celui de **l'ordre stable**, c'est-à-dire que les mots-nombres doivent toujours être récités dans le même ordre. Le troisième est celui de **la cardinalité** : le dernier mot-nombre récité dans une séquence indique le symbole définissant le nombre d'items présents dans l'ensemble. Ces trois premiers principes régissent la procédure du comptage. Ils représentent les règles de base nécessaires pour pouvoir compter correctement. Les deux derniers principes sont

celui de **l'abstraction** (i.e. tous les objets peuvent potentiellement être mis ensemble pour être comptés) et celui de **l'indifférence de l'ordre** (i.e. les items peuvent être comptés dans n'importe quel ordre, du moment que les autres principes de comptage ne sont pas violés). Ces deux derniers permettant de déterminer ce qui peut être compté et distinguent le comptage de l'étiquetage, qui consiste à utiliser un mot pour désigner un objet, sans les contraintes des mots-nombres, en utilisant par exemple, plusieurs fois le même mot pour désigner plusieurs objets différents (Gelman, 1990; Gelman & Meck, 1983). À la suite d'expériences comme celles que nous avons mentionnées plus haut, impliquant de très jeunes enfants, il est proposé dans ce même article que les enfants développeraient dès le plus jeune âge une compréhension implicite de ces principes.

Toutes ces études ayant été réalisées sur des enfants neurotypiques, il convient alors de s'intéresser à la manière dont nos populations cliniques traitent ces problématiques liées au comptage. C'est-à-dire, jusqu'où ces individus parviennent à compter et s'ils montrent une compréhension des différents principes de comptage.

Dans une étude, des participants avec le SD entre 3 et 7 ans sont évalués sur deux différentes tâches de comptage : 1) compter le plus loin qu'ils le peuvent et 2) compter un ensemble d'objets et en donner un certain nombre à l'expérimentateur (surnommée la tâche « *Donne X* ») (Nye et al., 2001). Lors de la tâche de comptage simple, il ressort une grande hétérogénéité dans la distribution des scores. En effet, environ un tiers des enfants avec le SD ne parviennent pas à compter du tout sans l'aide d'un parent et obtiennent donc un score de zéro. Deux des vingt enfants TD ne parviennent pas non plus à produire une séquence de comptage dans cette condition. Cependant, les plus jeunes enfants de l'échantillon n'avaient que 2 ans au moment de l'expérience, il s'agit d'un âge relativement jeune, durant lequel il n'est pas particulièrement étonnant que des enfants peinent encore à compter sans l'aide de leurs parents. Les auteurs retrouvent également une valeur qui se distingue des autres : un individu avec le SD étant lui capable de compter jusqu'à 19. Cela constitue une séquence de comptage à la fois plus élevée que celle des enfants de son groupe, mais aussi que celle des enfants TD. Le reste des enfants avec le SD produit une séquence

de comptage entre 1 et 8, ce qui est en dessous de la majorité des enfants TD (de même âge mental non verbal) qui obtient des scores entre 9 et 15 (Figure 15). D'autres études rapporteront chez des personnes SD âgées de 20 ans, des capacités de comptage jusqu'à 20 et plus (Paterson et al., 2006). Lors d'études longitudinales, la majorité des enfants avec le SD atteint un niveau de connaissance des nombres et du comptage de base au moment de quitter l'école (i.e. autour de 20 ans). La totalité parvient à compter au minimum jusqu'à 9. Un effet de plateau est également suggéré par les données à partir de 16 ans dans cette cohorte (Turner & Alborz, 2003).



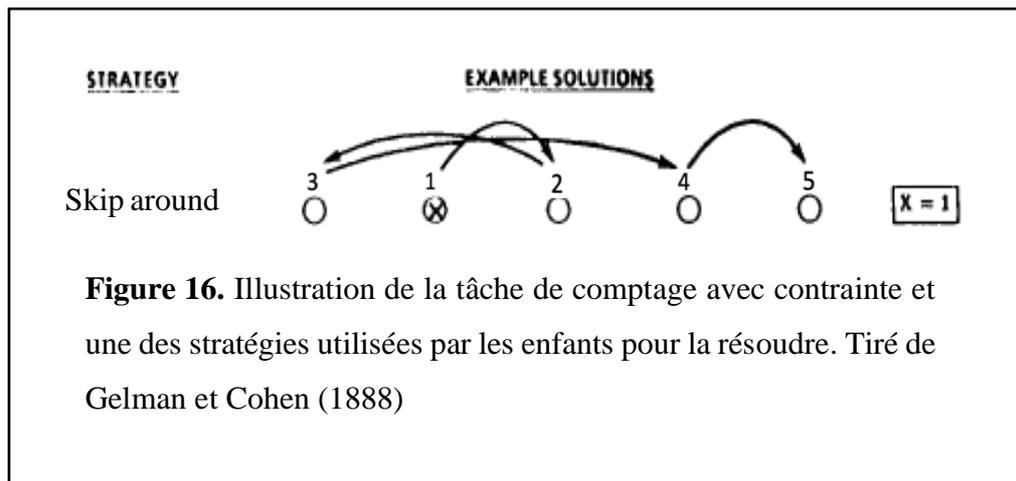
Dans un comptage plus complexe comme avec la tâche *donne X*, qui évalue la connaissance de la cardinalité des enfants, seuls 2 sur 16 enfants avec le SD et 7 sur 20 des enfants TD parviennent à donner correctement à l'expérimentateur des ensembles de 2 ou 3 objets (Nye et al., 2001). Les auteurs argumentent qu'à ce stade du développement, il n'est pas particulièrement étonnant de constater qu'une majorité des enfants ne présentent pas une compréhension de la cardinalité au vu de leur âge (entre 3 et 7 ans pour les participants avec le SD et 2 et 4 ans pour les enfants TD). Malgré une légère avance des enfants TD, aucun enfant ne parvient à donner d'ensembles de plus

de 3 objets à l'expérimentateur. Cette tâche dépendant de plusieurs facteurs, il s'agit donc pour les enfants de compter, de se souvenir du nombre d'objets qui leur a été demandé, puis de s'arrêter lorsque ce nombre est atteint, puis de donner. Une ou plusieurs de ces étapes semblent donc poser un problème aux enfants, ce qu'il pourrait être intéressant d'éclaircir en étudiant le type d'erreurs que les enfants font sur cette tâche. Il se peut par exemple qu'ils ne parviennent pas à se souvenir du nombre qui leur avait été demandé. Il se peut également que les mêmes enfants qui ne parvenaient pas à produire de séquence de comptage dans l'étape précédente, soient aussi ceux qui ne parviennent pas à compter les objets qui se trouvaient devant eux durant la tâche *donne X*. Cependant, seul 16 des 23 enfants avec le SD seront testés sur cette tâche car 7 d'entre eux ont refusé de réaliser la tâche ou étaient trop fatigués pour le faire. Il arrive souvent que les enfants avec le SD aient plus rapidement de mal à maintenir leur attention et à gérer la frustration des tâches, ce qui constitue parfois un problème pour les échantillons dans ce type d'études (Breckenridge et al., 2013).

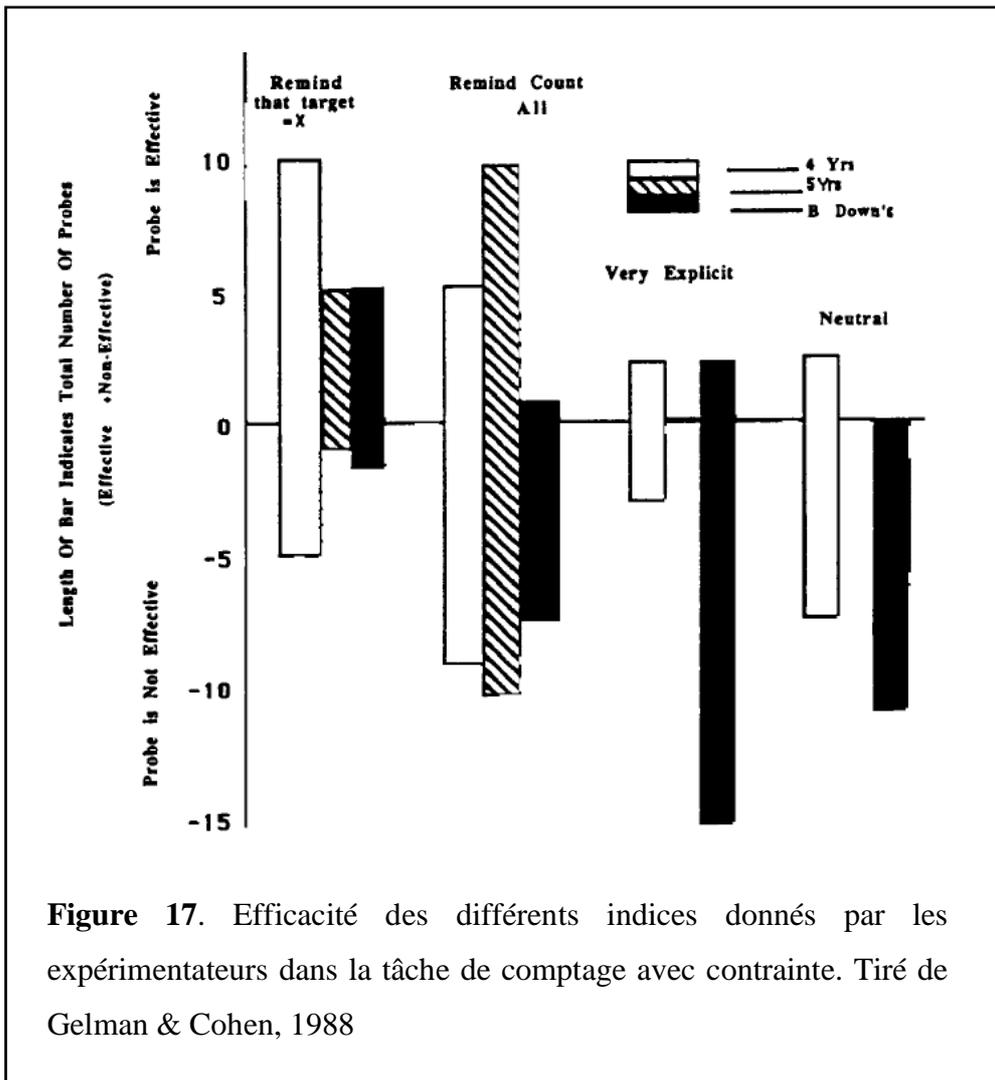
En ce qui concerne les stratégies de comptage, les auteurs relèvent qu'il existe deux principaux types de stratégies dans cette tâche : la première consiste à attraper une poignée d'objets et de tenter de compter la quantité demandée (les participants utilisant cette stratégie sont appelés « *grabbers* »), et la seconde consiste à commencer par compter les objets puis à les prendre, ce qui implique de reconnaître que dans la demande de l'expérimentateur, (par exemple de lui donner 3 billes) le nombre d'objets demandés représente un cardinal soit la fin de la séquence de comptage (« *counters* »). L'utilisation de cette deuxième stratégie, même si la réponse finale est erronée, démontre une connaissance déjà plus approfondie du principe de cardinalité. Dans l'étude de Nye et al., 37.5% des enfants avec le SD sont des « *counters* » et environ 35% des enfants TD le sont. Dans les deux groupes, la majorité des participants reste donc des « *grabbers* ». Cette proportion faible de « *counters* » n'est pas particulièrement étonnante compte tenu de l'âge des participants. Les enfants neurotypiques commençant généralement à devenir des « *counters* » autour de 3 ans et demi (Wynn, 1990). Cependant, il reste intéressant de noter que cette proportion est similaire dans les populations TD et SD appariés selon l'âge mental. La trajectoire développementale de ces individus semble donc suivre un chemin

semblable. Il est par ailleurs intéressant de relever quand dans les deux groupes, le soutien d'un parent pendant l'épreuve améliore les performances. Les parents des enfants, dans la condition « avec support », étaient autorisés à donner à leur enfant toute l'aide nécessaire à leur succès sur la tâche. Malgré des séquences de comptage plus courtes que les enfants TD, les enfants avec le SD semblent donc développer une compréhension de certains principes de comptage de manière similaire aux enfants TD, comme l'illustre la tâche *donne X*. Ils semblent également à plusieurs niveaux, avoir des comportements de comptage similaires aux enfants de même âge mental ce qui indique qu'à ce stade de leur développement, il n'apparaît pas d'écart particulier entre leurs capacités de comptage et celles des enfants TD de même âge mental.

Dans une autre étude incluant des enfants TD de 4 et 5 ans, et des enfants avec le SD entre 9 et 13 ans appariés selon l'âge mental, les auteurs proposent une tâche de comptage, dans laquelle les expérimentateurs présentent 5 objets alignés à l'enfant et lui demandent tout d'abord de compter cet ensemble. Puis, ils lui demandent de recompter cet ensemble tout en assignant le « un » à un objet-cible, puis ils lui demandent d'assigner « le deux » à un autre objet-cible, et ce jusqu'à cinq (voir Figure 16 pour un exemple) (Gelman & Cohen, 1988).



Par exemple, l'enfant peut avoir devant lui 5 objets alignés, l'expérimentateur va alors demander à l'enfant de commencer à les compter avec une condition : commencer par le deuxième objet. Cela requiert la capacité de considérer que peu importe l'ordre dans lequel les objets sont comptés, le résultat sera le même, il s'agit de **l'indifférence de l'ordre**. Lorsqu'il s'agit tout d'abord de compter l'ensemble sans contrainte, les enfants avec le SD montrent des difficultés à honorer **le principe de correspondance terme-à-terme**. C'est-à-dire qu'ils auront donc tendance à réassigner le même mot-nombre à plusieurs objets. Dans la tâche avec contrainte, un sous-groupe de 2 individus avec le SD performe systématiquement au maximum, alors que les pourcentages de comptages correctement réalisés des autres individus avec le SD, se trouve autour de 20%. Ils montreront à nouveau certaines difficultés avec la correspondance terme-à-terme. Par exemple, ils commenceront par l'item-cible et son mot-nombre (p.ex., 3) et continueront de compter à partir de celui-ci (4,

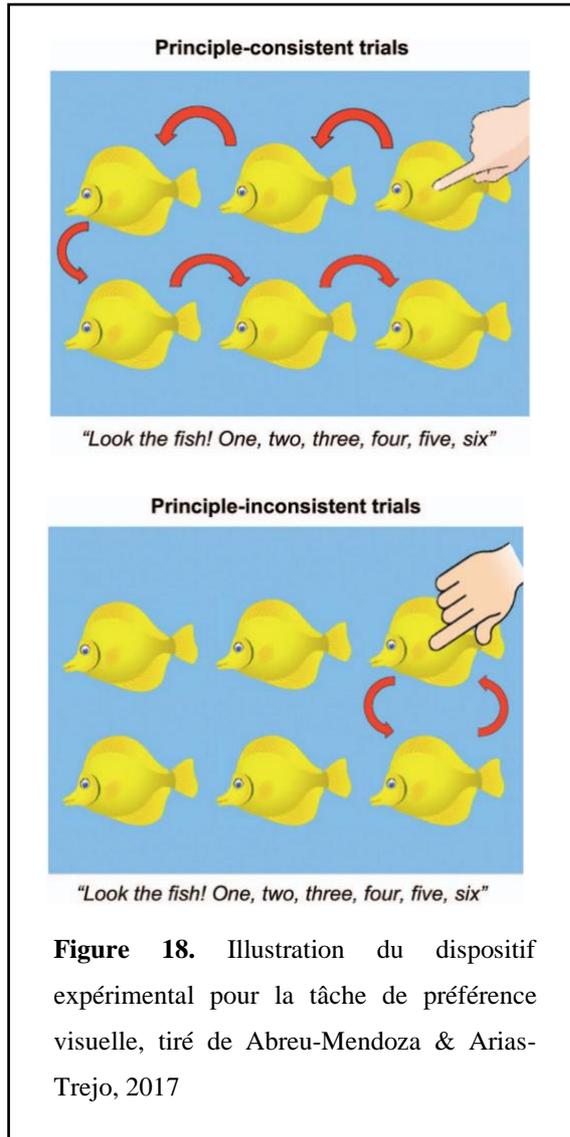


5, 6, ...). Pour aider les enfants dans la réalisation de cette tâche et observer si ce type d'erreurs pouvaient être corrigées, les expérimentateurs avaient la possibilité de donner des indices aux participants. Certains indices étaient plus explicites (faire une démonstration de la solution), ou alors plus subtils (rappeler à l'enfant quel est l'objet cible, rappeler à l'enfant de compter tous les objets). Les expérimentateurs relèvent l'efficacité de ces indices dans les deux groupes. Tout d'abord, les enfants avec le SD ont reçu bien plus d'indices explicites de la part des expérimentateurs que les autres groupes. Chez les 8 autres individus avec le SD mentionnés précédemment, les résultats témoignent d'un manque d'efficacité des indices donnés par les expérimentateurs chez les participants, même lorsqu'ils sont très explicites. Les indices ne semblent pas leur permettre d'améliorer leurs performances. Les enfants TD ont également davantage tendance à parvenir à se corriger eux-mêmes en cas d'erreurs. Les auteurs concluent à une plus grande difficulté chez ces participants à corriger leurs erreurs et de manière générale, d'une grande difficulté à flexibiliser leur raisonnement (Figure 17). Ils performant globalement moins bien que les enfants de 4 et 5 ans sur cette tâche et ont une tendance plus marquée à ne pas respecter les principes fondamentaux du comptage. Les auteurs argumentent qu'il s'agit là d'un signe qui indique que les personnes avec le SD n'apprennent à compter qu'en récitant la « comptine » des chiffres ; c'est-à-dire en récitant les séquences de mots-nombres par cœur, sans réelle compréhension des principes qui les régissent. Cependant, il convient également d'aborder la thématique de la compréhension et de la connaissance du vocabulaire. En effet, celui-ci ressort dans la littérature comme une problématique récurrente chez les personnes avec le SD. Il est donc difficile d'écarter la possibilité que les indices donnés et les demandes de la tâche ne soient pas bien comprises ou alors que les déficits dans le domaine du vocabulaire mettent en difficulté les personnes avec le SD en matière de comptage.

Le développement du vocabulaire au sein de cette population clinique pourrait constituer une explication alternative à ces difficultés. Comme il a été mentionné précédemment, un trait particulier attribuable aux personnes avec le SD est une difficulté générale dans le domaine du vocabulaire. Qu'il s'agisse du vocabulaire expressif (Cardoso-Martins et al., 1985; Hick et al., 2007; Zampini

& D'Odorico, 2013), de la connaissance des concepts (Laws et al., 2015) ou de la mémoire verbale à court terme (Jarrold et al., 2002). Or, des études réalisées sur des individus neurotypiques ont montré au travers de différentes expériences alliant des tests de vocabulaire et des tests de comptage (notamment la tâche *donne x*, qui donne également des informations sur la connaissance de la cardinalité) un lien entre les capacités liées au vocabulaire, en particulier le développement de celui-ci et les performances de comptage (Negen & Sarnecka, 2012). Des corrélations sont notamment retrouvées entre le vocabulaire expressif et la connaissance des mots-nombres. Les auteurs proposent que le développement du vocabulaire pourrait avoir un effet d'amorçage sur la connaissance des suites de mots-nombres et pourrait être utile dans le but d'associer un sens aux mots-nombres. Dans une étude, des chercheurs ont testé des enfants avec le SD à la fois sur une mesure de vocabulaire réceptif (i.e. les mots compris par les individus) et sur une mesure de connaissance des mots-nombres (tâche *Donne X*) (Abreu-Mendoza & Arias-Trejo, 2017). Les auteurs rapportent une corrélation entre les deux mesures. Cela semble indiquer que les enfants avec le SD qui connaissaient le plus de mots, sont également ceux qui étaient meilleurs sur la tâche *donne X*. Ce lien retrouvé chez les enfants TD est donc également visible chez les personnes avec le SD. Il est donc possible que les difficultés dans le domaine du vocabulaire aient un impact sur l'acquisition des séquences de mots-nombres chez les enfants avec le SD et éventuellement de leur manipulation. Par exemple, ils pourraient peiner à associer un sens aux mots-nombres, ce qui leur rendrait la tâche plus difficile lorsqu'il s'agit de déroger à la « comptine » des suites de nombres.

Cette idée que les personnes avec le SD n'intègrent pas les principes de comptage et comptent uniquement sur la base du par cœur, a été remise en question par la suite. Une expérience a été faite sur des enfants avec le SD (environ 7 ans) ne sachant pas compter au-delà de 3. Celle-ci impliquait un



**Figure 18.** Illustration du dispositif expérimental pour la tâche de préférence visuelle, tiré de Abreu-Mendoza & Arias-Trejo, 2017

paradigme de préférence visuel sur deux courtes vidéos de comptage (Figure 18). Dans l'une de ces vidéos, le principe de correspondance terme-à-terme était respecté, et dans l'autre, il ne l'était pas. Les enfants avec le SD, indépendamment de leur capacité à compter les éléments qui leur sont présentés, préfèrent regarder la vidéo de comptage respectant le principe de correspondance terme-à-terme. Cela indique que contrairement à ce qui a pu être avancé précédemment, à savoir que les personnes avec le SD ne comptent qu'en apprenant à réciter des mots-nombres par cœur, ils possèdent la capacité de reconnaître le principe de correspondance terme-à-terme,

dès le plus jeune âge.

Dans une étude de Noda Herrera et al. (2011), les auteurs relèvent que la plupart de leurs participants avec le SD, âgés de 12 à 31 ans, ne commettent pas d'erreurs lors du comptage dans leur étude. Lors d'entrevues avec ces individus, ils ont été répartis en trois groupes en fonction de leur niveau général en arithmétique. Leurs connaissances ont été évaluées sur la base de leur niveau scolaire (ce qu'ils étaient en train d'apprendre dans leur cursus scolaire), et sur leur familiarité des nombres (ici évaluée par la plus haute séquence de comptage atteinte). Il leur a été ensuite demandé de réaliser un certain nombre d'additions et de soustractions. Pour ce faire, les personnes avec le syndrome de Down interrogées ont systématiquement utilisé des techniques qui consistaient à

compter leurs doigts ou des balles qu'ils dessinaient sur la feuille. Les auteurs ne relèvent ici que très peu d'erreurs dans les processus de comptage, sauf chez les individus qui avaient le niveau de base le plus faible en mathématiques (les personnes dans ce groupe savaient compter jusqu'à 30 et apprenaient à réaliser des additions et des soustractions à un chiffre), constituant un tiers de leur échantillon. Dans ce groupe, la majorité des erreurs concernent les principes de la **correspondance terme-à-terme** et de l'**ordre stable**, ils ont donc tendance à recompter plusieurs fois le même item, ou à sauter des chiffres durant le processus de comptage. Comme dans plusieurs études précédentes, les auteurs ne relèvent pas de difficulté particulière avec la cardinalité pour les personnes avec le SD. Dans cette étude, la capacité à respecter les principes de comptage ne semble pas dépendre de l'âge des participants (les participants les plus âgés se trouvaient par ailleurs dans le groupe avec les moins bonnes connaissances en mathématiques), mais du niveau de connaissances générales des mathématiques sur la base desquelles ils ont été répartis dans les groupes. En effet, les individus avec le SD qui ont le moins bon niveau de connaissances générales en mathématiques, sont ceux qui ont le moins bien intégré les principes de comptage de base. Il existe également une importante disparité dans les compétences retrouvées dans ces échantillons, qui n'est pas nécessairement due à l'âge des participants puisque bien souvent lors de ces expériences, les meilleurs compteurs ne sont pas nécessairement les plus âgés.

Les personnes avec le syndrome de Down réalisent donc des séquences de comptage plus courtes que les enfants et personnes TD, mais semblent néanmoins parvenir à compter jusqu'aux alentours de 20 à 30 à l'âge adulte. Il semble que les 3 principes de base du comptage puissent être acquis et appliqués par les personnes avec le SD. La cardinalité semble particulièrement bien acquise. Au contraire, le principe de la correspondance terme-à-terme semble pouvoir être reconnu, notamment par de très jeunes enfants mais poser des problèmes en pratique, notamment lors de tâches de comptage avec contrainte. Il semble que le niveau de connaissance général en mathématique pourrait être associé à la capacité à reconnaître et à appliquer les différents principes de comptage. L'hypothèse d'un comptage uniquement basé sur le « par cœur » semble à ce stade peu probable. Il a également été soulevé la possibilité que le

vocabulaire ait une importance dans cette difficulté à produire des séquences de comptage plus longues. Il est possible que les capacités déficitaires des personnes avec le SD à apprendre et utiliser de nouveaux mots ait un effet limitant pour l'apprentissage et la manipulation de mots-nombres.

Très peu d'études ont évalué les capacités de comptage de personnes avec le SW. L'une d'entre elle consistait à demander à des enfants et adultes avec le SW âgés respectivement en moyenne de 9.7 ans et de 28.9 ans, de compter entre 1 et 20 (Ansari et al., 2007). Le groupe des enfants avec le SW parvenait sans difficultés à compter jusqu'à 10 mais la grande majorité des participants de ce groupe montraient de grandes difficultés à nommer les chiffres entre 11 et 20. Les mêmes difficultés sont retrouvées chez les enfants TD entre 4 et 5 ans pour le comptage au-delà de 10. En ce qui concerne les participants adultes avec le SW, ils parvenaient généralement à compter jusqu'à 20. Ceci est cohérent avec les résultats de l'étude de Paterson et al. (2006) dans laquelle leur échantillon de participants adultes avec le SW (20 ans et 9 mois) parvenait sans problème à compter jusqu'à 20 mais montraient davantage de difficultés lorsqu'il leur était demandé de compter de 25 à 30. C'est ici qu'une importante hétérogénéité intervient puisque seul 50 % des participants parvient jusqu'à 35. Certains s'arrêtent avant 35 (un participant parviendra jusqu'à 28 et l'autre jusqu'à 34), et d'autres n'y arrivent tout simplement pas. Lorsqu'il s'agit de compter à l'envers de 20 à 1, seul un participant sur les 8 y parvient (Figure 19). En effet, leurs résultats se rapprochent de ceux obtenus par des enfants appariés selon l'âge mental de la population clinique (environ 7 ans). Leurs résultats diffèrent de ceux obtenus par les participants avec le SD, dont la majorité parvient à compter à l'envers (66% des participants) et chez qui le comptage entre 25 et 35 ne pose aucun problème (Figure 20).

Number battery item	WS							
	JN	TS	LS	AD	CC	GM	RD	NM
Counting 1-20	85	100	100	100	100	100	100	100
Counting 25-35	*	100	upto28	100	upto34	100	100	*
Backwards 20-1	21.05	100	*	*	*	*	50	*

**Figure 19.** Pourcentage de réponses correctes des participants avec le SW sur les différentes tâches de comptage, tiré de Paterson et al., 2006

\* Item non complété

	DS							Mean	SD
	EB	CM	AB	DT	SH	JP			
Counting 1-20	100	100	100	100	100	100	100	0	
Counting 25-35	100	100	100	100	100	100	100	0	
Backwards 20-1	100	100	50	*	100	100	90		

**Figure 20.** Pourcentage de réponses correctes des participants avec le SD sur les différentes tâches de comptage, tiré de Paterson et al., 2006

\* Item non complété

Lors de la même étude, les participants doivent également répondre aux questions « *Quel est le nombre qui suit ?* » et « *Quel est le nombre qui précède ?* » alors que l'expérimentateur leur énonce un chiffre. D'une part, les participants SW performaient moins bien que les participants SD sur les tâches « *Quel est le nombre qui suit / précède ?* », d'autre part et de manière plus intéressante, lors de cette tâche, des différences d'ordre plus qualitatives sont ressorties. En effet, les participants avec le SW rencontraient des difficultés pour situer les nombres les uns par rapport aux autres. Ils avaient tendance à inverser ceux qui viennent avant ou après. Par exemple, donner la réponse « 16 » lorsqu'il leur est demandé le nombre qui précède 15 et vice-versa. Ils avaient également tendance à ne pas conserver la classe du nombre en question (i.e., si la réponse se trouve dans les centaines, dizaines ou les unités), ce que les participants avec le SD faisaient toujours, même lorsqu'ils se trompaient. Cela permettait aux réponses des participants avec le SD de conserver la plupart du temps, la taille approximative de la réponse. Ces différents types d'erreurs montrent (1) une

difficulté plus grande chez les participants avec le SW lors du comptage (2) une difficulté particulière dans la représentation de la magnitude des chiffres. Il est possible que les difficultés rencontrées dans la tâche « *Quel nombre suit / précède ?* » soient dues à la tendance à compter en récitant la série de chiffres par cœur sous forme de comptine. Les résultats faibles de personnes avec le SW sur ces tâches laissent à penser que les capacités langagières ne permettent pas de soutenir suffisamment le développement de la compréhension de la cardinalité et de compenser les déficits au niveau des capacités visuo-spatiales. Dans une recherche récente, des chercheurs ont montré que les capacités visuo-spatiales chez les enfants neurotypiques corrélaient de manière importante avec leurs mesures de compétences verbales liées aux chiffres. Ces mesures impliquaient notamment du comptage libre, du comptage en arrière et de la lecture de chiffres arabes. Les résultats montrent que les capacités visuo-spatiales sont liées à ces mesures, et le sont même davantage que l'expression verbale (Cornu et al., 2018). Les auteurs argumentent que les capacités de comptage pourraient notamment exiger une visualisation ou une capacité de manipulation de la séquence de comptage. Il est possible que ce domaine pose ici un problème particulier aux personnes avec le SW, malgré leurs bonnes capacités verbales.

Dans une autre étude, 15 enfants avec le SW entre 6 et 11 ans et 14 enfants TD entre 3 et 5 ans, appariés sur la base de l'âge mental visuo-spatial (évalué par le Pattern Construction test issu du BAS II) , ont été testés sur une tâche impliquant de compter entre 2 et 6 figurines d'animaux, et une tâche *Donne X* (Ansari et al., 2003). Les performances de personnes avec le SW sur la tâche de comptage ne diffèrent pas de celle des enfants TD. Ils n'atteignent que 50% de réponses correctes à la tâche de comptage et sont plus performants sur la tâche *Donne X* pour les petits nombres (1-3 objets) que pour les plus grands nombres (4-6) ce qui est cohérent avec les relativement bonnes capacités de subitisation, relevées précédemment dans ce travail. Il ressort également que malgré des performances similaires dans les deux groupes, la compréhension du principe de cardinalité des personnes avec le SW repose davantage sur leurs capacités verbales. En effet, les participants avec un âge mental verbal plus élevé, étaient ceux qui avaient les meilleures performances sur la tâche *Donne X*. À l'inverse

chez les enfants TD, de bonnes capacités visuo-spatiales étaient plus associées au succès sur cette tâche que les capacités verbales. Les facteurs expliquant les performances sur cette tâche ne sont donc pas les mêmes pour les deux groupes.

En somme, les personnes avec le SD produisent des séquences de comptage plus courtes que les personnes TD et certains principes de comptage tels que la correspondance terme-à-terme peuvent leur poser quelques difficultés d'application. Cependant, la compréhension de la cardinalité semble être une capacité préservée chez ces individus. Les déficits en matière de vocabulaire dans cette population pourraient être liés aux difficultés dans la production de séquences de comptage. Une hypothèse pour expliquer ce lien est que, étant donné que la capacité à apprendre et comprendre des mots de manière générale est altérée chez ces personnes, les mots-nombre ne soient pas une exception. Ces déficits empêcheraient l'apprentissage de nouvelles suites de nombres et ne permettraient pas non plus de produire de nouveaux mots-nombres en utilisant les règles régissant les nombres, qui permettent d'aller plus loin dans le comptage. En ce qui concerne les personnes avec le SW, il peut être relevé qu'ils produisent des séquences de comptage légèrement plus courtes que les personnes avec le SD et qu'ils semblent se reposer davantage sur leurs capacités langagières pour le comptage que sur les capacités visuo-spatiales, ce qui pourrait également mener chez eux à des difficultés générales à manipuler les nombres.

## Les opérations arithmétiques

### Additions et soustractions

L'addition, la soustraction, la multiplication et la division sont des opérations de base dont l'apprentissage débute durant l'enfance et se poursuit au début de l'adolescence. Cet apprentissage est le résultat à la fois de l'observation du monde qui nous entoure et de l'intégration de multiples propriétés mathématiques et numériques apprises durant l'enseignement scolaire. Ces opérations sont associées aux différentes capacités que nous avons vues précédemment. Dans cette partie du travail, je me concentrerai uniquement sur les additions, les soustractions et très brièvement sur les multiplications car les

études ne se sont pas penchées sur la question des divisions dans ces populations, à cause de leur âge mental faible et de leurs difficultés déjà présentes dans les tâches d'additions et de soustractions et de la complexité de celles-ci.

En se basant sur les informations relevées précédemment, il semble que différentes difficultés impactent les performances des personnes avec le syndrome de Down et de Williams qui ne dépendent pas uniquement de leur apprentissage général des mathématiques. Lors du cursus éducatif spécialisé de ces individus, les bases de ces manipulations mathématiques leur sont apprises. Leurs capacités de comptage étant certes limitées, ils devraient néanmoins logiquement être capables de réaliser des additions simples puisqu'il ne s'agit parfois que de compter pour obtenir un total. Il existe plusieurs stratégies permettant à un enfant de savoir que si nous ajoutons 2 pommes dans notre panier qui en contient déjà 3, nous aurons au total 5 pommes. Il peut par exemple compter les 3 pommes se trouvant déjà dans son panier, puis continuer à compter en ajoutant les deux nouvelles pour arriver à la conclusion que 5 pommes se trouvent maintenant dans son panier. Il s'agit de l'une des stratégies utilisées par les enfants TD pour appréhender les additions basiques (Baroody, 1987).

Il existe d'autres stratégies employées par les enfants pour résoudre les problèmes d'additions. Ces stratégies changent au fil du développement de l'enfant (Siegler & Shrager, 1984). Lorsque les enfants apprennent à résoudre ces problèmes, ils commencent généralement autour des 4-5 ans, par des stratégies impliquant la représentation des deux opérands du calcul pour ensuite les compter. Il s'agit de la stratégie « All » (ou « concrete counting all ») (Berteletti & Booth, 2016). Ils emploient ensuite des stratégies de type « Min », lorsqu'ils commencent directement par la représentation de l'opérande la plus élevée, ce qui est plus économique que d'effectuer le comptage de tous les éléments de l'opération. Dans le cas des soustractions, il existe également différents types de stratégies tels que « Separating from », lorsque la plus grande quantité est représentée (par des objets ou par les doigts) et que la plus petite quantité est retirée à celle-ci. Par exemple, pour effectuer l'opération  $6 - 4$ , l'enfant pourrait représenter avec 6 doigts, le plus grand opérande. Puis, il baisserait 4 doigts, la réponse serait alors les deux doigts qui sont encore levés. Il existe également la stratégie « Adding on » lorsque le plus petit opérande est

représenté et que des éléments sont ajoutés jusqu'à parvenir au plus grand opérande. La réponse est alors le nombre d'éléments ayant été ajoutés (Carpenter & Moser, 1984). Dans le cas de l'opération  $4 + ? = 6$ , l'enfant lèverait 4 doigts et compterait 1 puis 2, à mesure qu'il lève les doigts pour arriver jusqu'à 6. Le nombre d'éléments ajoutés est alors 2 et représente la solution à l'opération. Les auteurs repèrent l'utilisation de ces stratégies par des entretiens longitudinaux sur plusieurs années avec des enfants, et déterminent que cette stratégie est principalement employée au début de l'apprentissage des soustractions chez les enfants (Carpenter & Moser, 1984). Pour représenter ces stratégies, les enfants se reposent généralement sur l'utilisation des doigts ou d'objets, puis se dirigeront par la suite vers l'utilisation de stratégies dites mentales, qui ne requièrent pas l'utilisation d'objets représentatifs des opérandes (Baroody, 1987; Dupont-Boime & Thevenot, 2018). De manière générale, les auteurs argumentent également que l'utilisation des doigts chez les jeunes enfants réduit le nombre d'erreurs. Une étude a été réalisée sur le cas de personnes avec des déficits en mathématique, sélectionnées sur la base de leurs scores sur le sous-test de raisonnement mathématique issu du Wechsler Individual Achievement Test. Les auteurs relèvent qu'ils utilisent pour la plupart les mêmes stratégies que les enfants aux performances typiques, mais ont tendance à utiliser le comptage sur les doigts plus longtemps que les autres (Geary et al., 2004). Par exemple, à l'âge de 10 ans, un quart des enfants avec des déficits utilise encore des stratégies de comptage sur les doigts, contre 6% des enfants aux performances typiques. Dans le cas de la population qui nous intéresse qui présente elle-aussi des déficits en mathématique, il semble intéressant non seulement de déterminer si les participants avec le SD ou le SW parviennent à réaliser des opérations simples, mais également quelles stratégies ils emploient.

Dans une étude, les chercheurs ont conduit 12 entrevues avec des participants avec le syndrome de Down entre 12 et 31 ans pour analyser les stratégies et les procédures qu'ils utilisaient pour résoudre des problèmes d'additions et de soustractions (Noda Herrera et al., 2011). Ils ont établi 3 groupes en fonction de leurs capacités générales et de leurs connaissances à propos des additions et des soustractions : (L1), les élèves parviennent à compter jusqu'à 30 et apprennent à additionner et soustraire des chiffres entre 1 et 9. (L2) les élèves connaissent les nombres à deux chiffres et peuvent additionner ou soustraire des nombres à deux chiffres sans retenues. (L3) les élèves connaissent les nombres jusqu'à mille et apprennent à additionner et soustraire des nombres à deux chiffres avec des retenues. Pour les additions, les chercheurs relèvent que les stratégies *count all* sont les plus utilisées chez les étudiants avec le moins bon niveau de connaissances (Figure 21), la majorité des L2 et L3 utilisent la stratégie que les auteurs appellent *count up from larger* (aussi appelée « Min ») (Figure 22). Un pattern similaire est par ailleurs retrouvé lors des tâches de soustraction. Les élèves L1 avaient tendance à utiliser la stratégie « All », en comptant tous les éléments, réalisant alors une addition au lieu d'une soustraction. Les élèves L2 avaient tendance à utiliser la stratégie « Separate from » et les étudiants L3, la stratégie « Adding on ».

$$\begin{array}{r} 5 \text{ } \circ \circ \circ \circ \circ \\ + 7 \text{ } \circ \circ \circ \circ \circ \circ \circ \\ \hline 12 \end{array}$$

Represents each summand with balls then crosses them out and counts them.

**Figure 21.** Exemple de la stratégie *count all*, issu de Noda Herrera et al., 2011

$$\begin{array}{r} 22 \\ + 17 \\ \hline 39 \end{array}$$

Units: The pupil touches her forehead and says "seven", then says "eight, nine". She writes "9".  
Tens: The pupil touches her forehead and says "two", then says "three". She writes "3".

**Figure 22.** Exemple de la stratégie *count up from larger*, issu de Noda Herrera et al., 2011

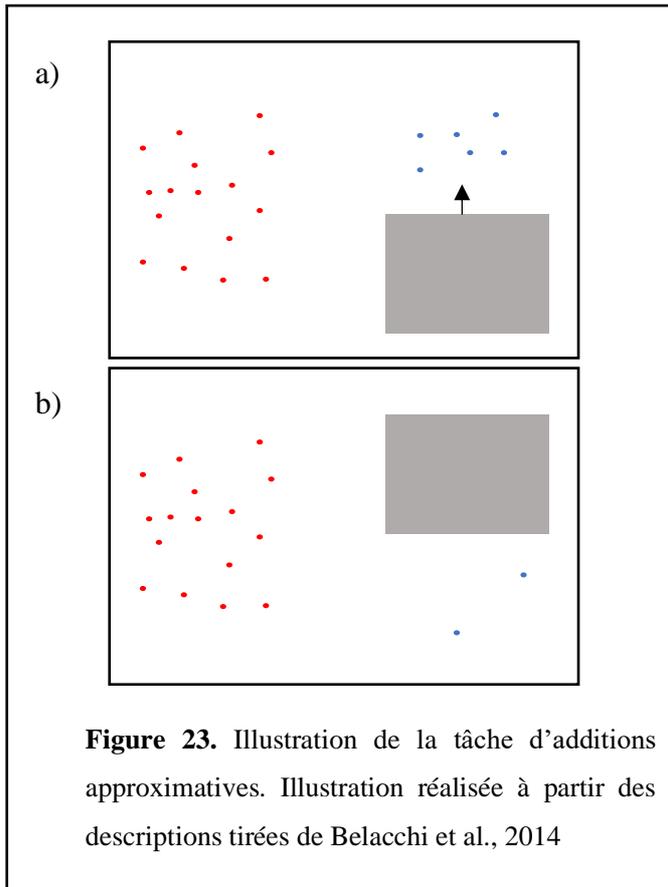
Les auteurs notent alors une claire évolution dans l'élaboration des stratégies, avec le niveau en arithmétique. Alors que l'étude de Dupont-Boime et Thevenot s'intéressait plus particulièrement à l'utilisation de ces stratégies en lien avec l'emploi des doigts. Force est de constater que l'évolution dans l'utilisation de ces stratégies suit chez les personnes avec le SD, le même chemin, de la plus basique (tout représenter puis tout compter) à la plus élaborée. Les opérations impliquant des retenues n'ont été présentées qu'aux enfants du niveau L3 puisque les autres ne savaient pas encore les réaliser. La plupart des erreurs dans ce cadre étaient constituée par l'oubli de la retenue, ce qui est cohérent avec ce qui s'observe chez les enfants au développement typique. La différence avec les enfants neurotypiques réside dans le fait que la plupart du temps, lorsqu'ils apprennent à réaliser des opérations qui impliquent des retenues, ils n'utilisent déjà plus de stratégies de modélisations (doigts ou dessins) pour compter. Ce qui, nous le verrons, n'est pas le cas chez les personnes avec le SD.

En ce qui concerne les procédures, tous les participants L2 et L3 utilisent leurs doigts pour résoudre les problèmes qui leur sont posés, alors que ceux faisant partie du groupe L1 ont recours à des balles, c'est-à-dire que les participants représentent les différentes parties du problème en dessinant des balles puis les comptent pour les ajouter les unes aux autres ou les tracent dans le cas de soustractions. Ce résultat soutient l'hypothèse basée sur les enfants TD selon laquelle la découverte et l'implémentation de stratégies utilisant les doigts pour résoudre des opérations de base, nécessite un certain niveau initial et que cette stratégie est donc procéduralement plus économique par la suite, mais est coûteuse à développer (Dupont-Boime & Thevenot, 2018). En outre, il est également notable que malgré l'âge relativement avancé des participants de l'étude de Noda Herrera et al. (2011), aucun, ni lors d'additions, ni lors de soustraction n'utilise la stratégie *recalled facts*. Cette stratégie implique de se souvenir automatiquement, sans compter que la réponse à  $3 + 5$  est 8, ou le déduisent à partir de faits intégrés en mémoire, sans se reposer sur l'utilisation d'éléments externes. Ils ont donc tendance à utiliser un support visuel/sensoriel, et n'utilisent pas de stratégies et procédures dites « mentales » facilitant la résolution des problèmes.

Par ailleurs, il existe une problématique liée à la mémoire qui se reflète dans la difficulté des participants à résoudre les problèmes lorsqu'ils sont uniquement présentés oralement. Dans l'étude de Noda Herrera et al. (2011), la plupart des élèves avec le SD dans les niveaux L1 et L2 échouent à la résolution de ces problèmes lorsqu'ils sont énoncés par l'expérimentateur mais ont plus de chance de succès lorsqu'ils sont présentés de manière écrite. Ce qui n'est pas fondamentalement différent de ce qui peut être observé chez les enfants TD.

Certains individus rencontrent également des difficultés dans la compréhension même de ce que représentent ces opérations. En effet, certains participants au niveau L1, arrivent à repérer au signe que ce qui leur était présenté se nomme « soustraction » car lorsqu'il leur est demandé ce qu'ils ont en face d'eux, ils sont capables de le dire, mais continuent d'ajouter comme s'il s'agissait d'une addition. Ces personnes ont donc potentiellement associé le symbole au mot « soustraction » mais ne parviennent pas à le lier aux procédures qu'ils sont pourtant censés connaître. Ils semblent ne pas comprendre formellement ce que le mot « soustraction » représente. Cependant, la capacité à lier formellement le signe et les procédures n'est pas nécessairement présente dans les populations TD dès la plus jeune enfance non plus. Une étude récente impliquant une tâche d'addition, montre que l'amorçage par le signe « + », n'avait d'effet que dans les groupes d'enfants les plus âgés et soutient l'hypothèse que l'automatisation des réponses lors d'additions ne se fait que plus tard au cours du développement, vers 13 ans (Poletti et al., 2023).

Pour pallier la question des symboles et de ce qu'ils représentent et dans le but de tester les enfants sur des tâches de calcul uniquement mental, il existe un type de tâche spécialisée. Celle-ci est à la fois relative au concept d'addition, mais aussi aux tâches d'estimations de numérosités que nous avons discutées



précédemment. Dans ce type de tâches, un nombre de points va être présenté à l'enfant, celui-ci va devoir être comparé avec l'addition approximative de deux autres ensembles de points. Dans une étude, une tâche d'additions approximatives non-symbolique est présentée à des participants SD (Belacchi et al., 2014) d'environ 18 ans, et à des participants TD

entre 4 et 7 ans. Dans cette tâche, un ensemble de 16 points rouges leur est présenté et doit être comparé avec le résultat de l'addition de deux autres ensembles de points bleus. Les ensembles bleus sont ensuite cachés un à un pour empêcher les participants de les compter (Figure 23). Ils réalisent également des tâches de mémoire de travail verbale qui consistent en la répétition orale de mots précédemment présentés, et visuo-spatiale impliquant la mémorisation de la position d'éléments statiques ou en mouvement sur une grille. Le concept de mémoire de travail est repris ici sur la base des travaux de Baddeley (Baddeley & Baddeley, 1992), comme le système général régissant le stockage temporaire d'informations nécessaires à réaliser un apprentissage, raisonner ou comprendre une tâche. Sur la tâche d'additions approximatives, ils performant de manière similaire aux enfants TD. Le pourcentage de réponses correcte du groupe avec le SD se trouvant à 77.38%, et celui des enfants TD à 75.45%. Leurs performances corrélaient également de manière plus importante aux succès dans les tâches de mémoire de travail visuo-spatiale (se rappeler où se trouve un élément dans l'espace), cette capacité particulière étant considérée comme relativement préservée dans cette population (Jarrod, 1999). Les participants

avec le SD ayant les meilleurs résultats sur les tâches de mémoire visuo-spatiale, obtiennent donc de meilleurs résultats sur la tâche d'addition approximative, ce qui est moins le cas chez les enfants TD. En somme, les participants avec le SD, dans une tâche comme celle-ci, se reposeraient davantage sur leur capacité à garder en mémoire la localisation des points qui leurs sont présentés pour effectuer l'addition approximative et résoudre le problème.

Il est intéressant de comparer directement nos deux populations cliniques sur les mêmes tâches. Pour cela, prenons l'étude de Paterson et al. (2006), sur des personnes adultes avec le SD ( $n=8$ ) et le SW ( $n=9$ ). Les tâches d'additions et de soustractions étaient constituées de problèmes à un chiffre tels que  $2 + 3$ , présentées sur des cartes et dont la réponse devait être présentée à l'oral ou à l'écrit. La tâche de multiplication était présentée sous la forme d'une question à choix multiple, avec trois possibilités de réponses. Par exemple, la question  $2 \times 4 = ?$  avait pour possibilités de réponses 8, 6 ou 9. A l'issue de cela, les auteurs notent tout de même sans en donner les chiffres précis, que les participants avec le SW semblaient plus régulièrement se tourner vers des stratégies de représentation des nombres sur leurs doigts ou avec des dessins de balles que les participants SD. Cependant, ils n'ont pas testé de lien entre cette utilisation et les performances des participants. Il semblerait que, malgré le fait que le comptage sur les doigts ait été précédemment rapporté comme un support utile pour manipuler les nombres, cela ne semble a priori pas avoir d'effet particulièrement bénéfique sur les personnes avec le syndrome de Williams. Il est intéressant néanmoins de noter que les résultats des participants avec le SD sont légèrement au-dessus des participants avec le SW. Deux participants avec le SW ne semblaient pas comprendre les concepts d'additions et de soustraction de manière générale, leurs scores n'ont donc pas été comptabilisés. La moyenne des scores calculés sur la base des réponses correctes pour les additions se trouve à 84 points sur 100 pour les personnes avec le SD et à 69.1 pour les personnes avec le SW. Pour les soustractions, la moyenne des scores des réponses correctes pour les personnes avec le SD se trouve à 76 points et à 62.1 points pour les personnes avec le SW. Un participant dans chaque groupe n'est pas parvenu à réaliser la batterie entièrement. La partie de la batterie de tests concernant les multiplications a été plus problématique dans les deux groupes. En effet, seule

la moitié des participants avec le SW a complété la batterie, et un seul participant avec le SD y est parvenu. Les multiplications semblent représenter une trop grande difficulté pour ces participants. Les auteurs ne spécifient pas la raison de ces données manquantes mais il est également possible qu'elle soit attribuable à l'abandon des participants. Dans cette étude, la comparaison entre les personnes avec le SD et les personnes avec le SW montre que les personnes avec le SD obtiennent des scores légèrement au-dessus de ceux avec le SW sur les tâches d'additions et de soustractions. Par ailleurs, les participants avec le SW semblent avoir davantage de difficultés à assimiler les procédures requises pour la résolution des problèmes mathématiques, comme en témoignent les participants retirés des analyses, qui ont dû recevoir des explications de la part des expérimentateurs sur ce qu'étaient les additions et les soustractions.

Une étude de Krajcsi et al. (2009) a testé des personnes SW avec un âge moyen de 17 ans, sur des tâches d'additions, de multiplications et sur une tâche de comparaisons de chiffres arabes. Les participants devaient décider si le résultat de l'opération était correct ou erroné. Par exemple, l'opération  $5 + 3 = 7$  leur était présentée, ils devaient ensuite appuyer sur l'une des deux touches d'un clavier pour indiquer s'ils estimaient que l'opération était correcte ou fausse. Les participants avec le SW ont une plus grande latence de réponse que les enfants TD sur la tâche de comparaison de chiffres arabes, malgré des taux d'erreurs relativement bas. Les auteurs ne relèvent pas de différence entre les performances des individus avec le SW testés et les enfants TD entre 7 et 10 ans sur les tâches d'additions et de multiplications. Cependant, il est à noter que les opérandes des calculs ne dépassaient pas 8, et que l'opérande la plus grande se trouvait toujours en premier. Ces résultats sont conformes à ce qui a pu être avancé précédemment, à savoir que les personnes avec le SW sont généralement capables de résoudre des opérations d'additions simples. Cependant, les résultats semblent tout de même ici meilleurs que lors de l'étude de Paterson et al. Dans l'étude de Krajcsi et al., les participants SW montrent des performances sur la tâche de multiplication qui sont comparables à celles des enfants de 9-10 ans. Ces résultats relativement bons sur la tâche de multiplication diffèrent de l'étude de Paterson et al., (2006) dans laquelle leur batterie de tests de multiplications simples (administrée à des individus adultes avec le SD et le SW), n'avait été

complétée que par 5 des 14 participants des deux groupes, et avait donné lieu à des scores relativement bas. Les auteurs ont également évalué les enfants sur une tâche de comparaison de chiffres arabes. Lors de celle-ci, les participants avec le SW avaient non seulement commis davantage d'erreurs que les participants TD, mais montraient également une latence de réponse plus élevée. Les divergences entre ces deux résultats pointent vers un déficit plus spécifique vis-à-vis de l'évaluation des magnitudes des nombre au sein de cette population, comme cela a déjà été abordé dans ce travail. Le système verbal relativement préservé pourrait constituer une solution compensatoire permettant aux personnes avec le SW de réaliser les additions et les multiplications dans ce cadre, mais pas les comparaisons des chiffres arabes.

Dans une autre étude, des chercheurs ont comparé les performances d'individus avec le SW avec celles d'enfants TD (O'Hearn & Landau, 2007). Leurs participants avec le SW avaient un âge moyen de 17 ans, et les enfants TD avaient été appariés selon l'âge mental (environ 6 ans et 2 mois), sur une batterie standardisée de tests mathématiques (TEMA-2) incluant des tâches de comptage, d'additions, soustractions et multiplications, de ligne numérique mentale, et de lecture de nombres. Les scores généraux ne diffèrent pas significativement entre les deux populations. Les participants avec le SW obtiennent des résultats similaires à des enfants de même âge mental (environ 6 à 8 ans) sur les mesures de capacités mathématiques, alors que leurs performances sur les tâches de construction de blocs (relatifs aux capacités visuo-spatiales) est davantage similaire à ce qui pourrait être attendu d'enfants de 4 ans. Cela montre sans grande surprise qu'ils possèdent des capacités arithmétiques meilleures que leurs capacités visuo-spatiales, ce qui met en évidence par ailleurs qu'il existe des stratégies qu'ils peuvent utiliser pour pallier ces difficultés. Cependant, les participants TD obtenaient de meilleurs scores sur la ligne numérique mentale, les additions et les soustractions rapides, tandis que les personnes avec le SW formulaient davantage de réponses correctes sur les items qui consistaient à lire des chiffres arabes. Ces résultats suggèrent que malgré des scores de réponses correctes similaires sur cette batterie de tests, qui montrerait donc un niveau en mathématique adapté à leur âge mental, le même schéma se dessine, dans lequel la force des personnes avec le SW, réside dans

leurs capacités langagières. Ceci leur permettrait d'être meilleur dans des tâches qui consistent à identifier et lire des chiffres arabes et éventuellement de compenser d'éventuels déficits liés à la pauvreté de leurs capacités visuo-spatiales.

## Conclusion

Le but de ce travail était de faire un état des lieux de la recherche sur la thématique des capacités arithmétiques dans les cas du syndrome de Down et de Williams, et de déterminer comment ces capacités ou ces incapacités pourraient se traduire dans le quotidien de ces personnes. Nous avons exploré plusieurs catégories d'habiletés, en partant de capacité plus basiques, sujettes à l'expérimentation depuis la plus jeune enfance, vers des capacités arithmétiques plus complexes, dont l'apprentissage se fait plus tard dans la vie de ces personnes.

Dans plusieurs cas, il a été constaté que les personnes avec le SD et les personnes avec le SW obtenaient des résultats similaires sur certaines tâches, voire des résultats similaires aux personnes TD d'âge mental comparable. Cependant, il semble que dans une multitude de cas, les tests réalisés ne fassent pas appel aux mêmes ressources chez nos deux groupes cliniques. En effet, notamment lors des tâches d'estimation de la ligne numérique mentale, ou encore de tâches de comptage comme *donne X*, une divergence entre les résultats et les liens qu'ils entretiennent avec les capacités visuo-spatiales et les capacités langagières émerge. Les performances des personnes avec le SD ont tendance à être associées positivement à leurs capacités visuo-spatiales, et celles des personnes avec le SW, à leurs capacités langagières. Sachant que comme il a été mentionné au début de ce travail, ces deux compétences ont un impact sur les performances arithmétiques et font donc partie des composantes clés de celles-ci, il est intéressant de constater qu'elles peuvent en quelque sorte se « compenser » dans ces populations cliniques.

Ces informations sont importantes car elles pourraient fournir des pistes d'interprétation quant aux difficultés que ces personnes rencontrent dans le domaine de l'arithmétique. Il semble également central de rendre attentif au fait

que différentes tâches mesurent différentes habiletés chez ces populations. Lors de certaines tâches, les personnes avec le syndrome de Down et de Williams vont mettre à profit des capacités différentes pour y répondre, les ressources qui sont le plus à leur avantage. D'un côté, les capacités langagières pour les personnes avec le syndrome de Williams, et de l'autre, les capacités visuo-spatiales pour les personnes avec le syndrome de Down.

Les difficultés rencontrées par ces individus sont importantes à considérer car elles ont des répercussions sur leur quotidien et leur autonomie. En effet, comme il a été mentionné au début de ce travail, le simple fait d'aller dans un magasin, choisir des ingrédients et les payer représente un processus jonché d'obstacles pour des personnes ayant des troubles du développement cognitif tels que le syndrome de Down ou de Williams. Au-delà des actes du quotidien comme celui-ci, la possibilité pour ces personnes d'entrer dans le monde scolaire ou le monde du travail dépend grandement de la capacité à manipuler les nombres que ce soit au travers de calculs, ou plus simplement du comptage. Développer de l'autonomie semble à la fois intéressant en termes de développement de l'estime de soi mais aussi pour faciliter la prise en charge par les proches et soignants de ces personnes.

Ces déficits sont, comme il est ressorti dans la recherche, plus ou moins visibles dans des tâches complexes comme la réalisation d'opérations mathématiques mais leur origine pourrait bien se trouver dans des capacités cognitives sous-jacentes sur lesquelles il convient de travailler si des pistes d'améliorations doivent être envisagées. Pour ce faire, il est intéressant de considérer les forces et les faiblesses qui constituent le profil cognitif de ces populations, dans le but éventuel d'intervenir sur les faiblesses et de mettre en valeur les forces. Il ressort que les capacités relativement préservées chez ces populations, à savoir les capacités visuo-spatiales chez les personnes avec le SD et les capacités langagières pour les personnes avec le SW, pourraient avoir une valeur compensatoire tout à fait intéressante à explorer au travers de recherches plus approfondies sur ces populations sur le long terme, ainsi qu'au travers d'interventions ciblées.

## Références

Abreu-Mendoza, R. A., & Arias-Trejo, N. (2015). Numerical and area comparison abilities in Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities, 41-42*, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.05.008>

Abreu-Mendoza, R. A., & Arias-Trejo, N. (2017). Counting ability in Down syndrome: The comprehension of the one-to-one correspondence principle and the role of receptive vocabulary. *Neuropsychology, 31*(7), 750-758. <https://doi.org/10.1037/neu0000377chi>

Ansari, D., Donlan, C., & Karmiloffsmith, A. (2007). Typical and Atypical Development of Visual Estimation Abilities. *Cortex, 43*(6), 758-768. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70504-5](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70504-5)

Ansari, D., Donlan, C., Thomas, M. S. C., Ewing, S. A., Peen, T., & Karmiloff-Smith, A. (2003). What makes counting count? Verbal and visuo-spatial contributions to typical and atypical number development. *Journal of Experimental Child Psychology, 85*(1), 50-62. [https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(03\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(03)00026-2)

Antell, S. E., & Keating, D. P. (1983). Perception of Numerical Invariance in Neonates. *Child Development, 54*(3), 695. <https://doi.org/10.2307/1130057>

Baddeley, A. D., & Baddeley, A. D. (1992). *Working memory* (Repr). Clarendon Pr. [u.a.].

Baroody, A. J. (1987). The Development of Counting Strategies for Single-Digit Addition. *Journal for Research in Mathematics Education, 18*(2), 141. <https://doi.org/10.2307/749248>

Belacchi, C., Passolunghi, M. C., Brentan, E., Dante, A., Persi, L., & Cornoldi, C. (2014). Approximate additions and working memory in individuals with Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities, 35*(5), 1027-1035. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.01.036>

Bellugi, U., Lichtenberger, L., Jones, W., Lai, Z., & St. George, M. (2000). I. The Neurocognitive Profile of Williams Syndrome : A Complex Pattern of Strengths and Weaknesses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(Supplement 1), 7-29. <https://doi.org/10.1162/089892900561959>

Berteletti, I., & Booth, J. R. (2016). Finger Representation and Finger-Based Strategies in the Acquisition of Number Meaning and Arithmetic. In *Development of Mathematical Cognition* (p. 109-139). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801871-2.00005-8>

Breckenridge, K., Braddick, O., Anker, S., Woodhouse, M., & Atkinson, J. (2013). Attention in Williams syndrome and Down's syndrome : Performance on the new early childhood attention battery. *British Journal of Developmental Psychology*, 31(2), 257-269. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12003>

Camos, V. (2009). Numerosity Discrimination in Children With Down Syndrome. *Developmental Neuropsychology*, 34(4), 435-447. <https://doi.org/10.1080/87565640902964557>

Cardoso-Martins, C., Mervis, C. B., & Mervis, C. A. (1985). Early vocabulary acquisition by children with Down syndrome. *American Journal of Mental Deficiency*, 90(2), 177-184.

Carpenter, T. P., & Moser, J. M. (1984). The Acquisition of Addition and Subtraction Concepts in Grades One through Three. *Journal for Research in Mathematics Education*, 15(3), 179. <https://doi.org/10.2307/748348>

Chen, Q., & Li, J. (2014). Association between individual differences in non-symbolic number acuity and math performance : A meta-analysis. *Acta Psychologica*, 148, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.016>

Clearfield, M. W., & Mix, K. S. (1999). Number Versus Contour Length in Infants' Discrimination of Small Visual Sets. *Psychological Science*, 10(5), 408-411. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00177>

Cornu, V., Schiltz, C., Martin, R., & Hornung, C. (2018). Visuo-spatial abilities are key for young children's verbal number skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 604-620. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.09.006>

Dehaene, S. (2000). *Number Sense How the Mind Creates Mathematics*. Oxford University Press.

Duncan, E. M., & McFarland, C. E. (1980). Isolating the effects of symbolic distance, and semantic congruity in comparative judgments : An additive-factors analysis. *Memory & Cognition*, 8(6), 612-622. <https://doi.org/10.3758/BF03213781>

Dupont-Boime, J., & Thevenot, C. (2018). High working memory capacity favours the use of finger counting in six-year-old children. *Journal of Cognitive Psychology*, 30(1), 35-42. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1396990>

Faragher, R., & Brown, R. I. (2005). Numeracy for adults with Down syndrome : It's a matter of quality of life. *Journal of Intellectual Disability Research*, 49(10), 761-765. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2005.00747.x>

Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2002). The Representations Underlying Infants' Choice of More : Object Files Versus Analog Magnitudes. *Psychological Science*, 13(2), 150-156. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00427>

Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3754-9>

Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., & DeSoto, M. C. (2004). Strategy choices in simple and complex addition : Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(2), 121-151. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.002>

Gelman, R. (1973). The Nature and Development of Early Number Concepts. In *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 7, p. 115-167). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60441-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60441-3)

Gelman, R. (1990). First Principles Organize Attention to and Learning About Relevant Data : Number and the Animate-Inanimate Distinction as Examples. *Cognitive Science*, 14(1), 79-106. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1401\\_5](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1401_5)

Gelman, R., & Cohen, M. (1988). Qualitative differences in the way Down syndrome and normal children solve a novel counting problem. In *The psychobiology of Down syndrome* (p. 51-99). The MIT Press.

Gelman, R., & Meck, E. (1983). Preschoolers' counting : Principles before skill. *Cognition*, *13*(3), 343-359. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90014-8)

Gilmore, C., Clayton, S., Cragg, L., McKeaveney, C., Simms, V., & Johnson, S. (2018). Understanding arithmetic concepts : The role of domain-specific and domain-general skills. *PLOS ONE*, *13*(9), e0201724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201724>

Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., & Spelke, E. S. (2010). Non-symbolic arithmetic abilities and mathematics achievement in the first year of formal schooling. *Cognition*, *115*(3), 394-406. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.02.002>

Giurfa, M., Marcout, C., Hilpert, P., Thevenot, C., & Rugani, R. (2022). An insect brain organizes numbers on a left-to-right mental number line. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *119*(44), e2203584119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2203584119>

Guez, A., Piazza, M., Pinheiro-Chagas, P., Peyre, H., Heude, B., & Ramus, F. (2023). Preschool language and visuospatial skills respectively predict multiplication and addition/subtraction skills in middle school children. *Developmental Science*, *26*(3), e13316. <https://doi.org/10.1111/desc.13316>

Gunderson, E. A., & Levine, S. C. (2011). Some types of parent number talk count more than others : Relations between parents' input and children's cardinal-number knowledge: Types of parent number talk. *Developmental Science*, *14*(5), 1021-1032. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01050.x>

Hick, R. F., Botting, N., & Conti-Ramsden, G. (2007). Short-term memory and vocabulary development in children with Down syndrome and children with specific language impairment. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *47*(8), 532-538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2005.tb01187.x>

Holloway, I. D., & Ansari, D. (2009). Mapping numerical magnitudes onto symbols : The numerical distance effect and individual differences in children's mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*(1), 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.04.001>

Jarrold, C. (1999). Genetically dissociated components of working memory : Evidence from Downs and Williams syndrome. *Neuropsychologia*, *37*(6), 637-651. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(98\)00128-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(98)00128-6)

Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Phillips, C. E. (2002). Verbal Short-Term Memory in Down Syndrome : A Problem of Memory, Audition, or Speech? *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *45*(3), 531-544. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/042\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/042))

Karmiloff-Smith, A., D'Souza, D., Dekker, T. M., Van Herwegen, J., Xu, F., Rodic, M., & Ansari, D. (2012). Genetic and environmental vulnerabilities in children with neurodevelopmental disorders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(supplement\_2), 17261-17265. <https://doi.org/10.1073/pnas.1121087109>

Katzin, N., Cohen, Z. Z., & Henik, A. (2019). If it looks, sounds, or feels like subitizing, is it subitizing? A modulated definition of subitizing. *Psychonomic Bulletin & Review*, *26*(3), 790-797. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1556-0>

Krajcsi, A., Lukács, Á., Igács, J., Racsmány, M., & Pléh, C. (2009). Numerical abilities in Williams syndrome : Dissociating the analogue magnitude system and verbal retrieval. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *31*(4), 439-446. <https://doi.org/10.1080/13803390802244126>

Lanfranchi, S., Sella, F., Onnivello, S., Lunardon, M., & Zorzi, M. (2022). Number estimation in Down syndrome : Cognition or experience? *Research in Developmental Disabilities*, *131*, 104363. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2022.104363>

Laws, G., Briscoe, J., Ang, S.-Y., Brown, H., Hermena, E., & Kapikian, A. (2015). Receptive vocabulary and semantic knowledge in children with SLI and children with Down syndrome. *Child Neuropsychology*, *21*(4), 490-508. <https://doi.org/10.1080/09297049.2014.917619>

Levine, S. C., Suriyakham, L. W., Rowe, M. L., Huttenlocher, J., & Gunderson, E. A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge? *Developmental Psychology*, *46*(5), 1309-1319. <https://doi.org/10.1037/a0019671>

Long, I., Malone, S. A., Tolan, A., Burgoyne, K., Heron-Delaney, M., Witteveen, K., & Hulme, C. (2016). The cognitive foundations of early arithmetic skills : It is counting and number judgment, but not finger gnosis, that count. *Journal of Experimental Child Psychology*, *152*, 327-334. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.005>

Lonnemann, J., Linkersdörfer, J., Hasselhorn, M., & Lindberg, S. (2011). Symbolic and non-symbolic distance effects in children and their connection with arithmetic skills. *Journal of Neurolinguistics*, *24*(5), 583-591. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2011.02.004>

Mandler, G., & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, *111*(1), 1-22. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.111.1.1>

Martens, M. (2013). Developmental and cognitive troubles in Williams syndrome. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 111, p. 291-293). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52891-9.00033-6>

Moyer, R. S., & Bayer, R. H. (1976). Mental comparison and the symbolic distance effect. *Cognitive Psychology*, *8*(2), 228-246. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(76\)90025-6](https://doi.org/10.1016/0010-0285(76)90025-6)

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for Judgements of Numerical Inequality. *Nature*, *215*(5109), 1519-1520. <https://doi.org/10.1038/2151519a0>

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1973). Determinants of reaction time for digit inequality judgments. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *1*(3), 167-168. <https://doi.org/10.3758/BF03334328>

Negen, J., & Sarnecka, B. W. (2012). Number-Concept Acquisition and General Vocabulary Development. *Child Development*, *83*(6), 2019-2027. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01815.x>

Noda Herrera, A., Bruno, A., González, C., Moreno, L., & Sanabria, H. (2011). Addition and subtraction by students with Down syndrome. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 42(1), 13-35. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2010.500698>

Nye, J., Fluck, M., & Buckley, S. (2001). Counting and cardinal understanding in children with Down syndrome and typically developing children. *Down Syndrome Research and Practice*, 7(2), 68-78. <https://doi.org/10.3104/reports.116>

O'Hearn, K., Hoffman, J. E., & Landau, B. (2011). Small subitizing range in people with Williams syndrome. *Visual Cognition*, 19(3), 289-312. <https://doi.org/10.1080/13506285.2010.535994>

O'Hearn, K., & Landau, B. (2007). Mathematical skill in individuals with Williams syndrome : Evidence from a standardized mathematics battery. *Brain and Cognition*, 64(3), 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.03.005>

Opfer, J. E., & Martens, M. A. (2012). Learning without representational change : Development of numerical estimation in individuals with Williams syndrome. *Developmental Science*, 15(6), 863-875. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01187.x>

Östergren, R., & Träff, U. (2013). Early number knowledge and cognitive ability affect early arithmetic ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(3), 405-421. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.03.007>

Paterson, S. J., Girelli, L., Butterworth, B., & Karmiloff-Smith, A. (2006). Are numerical impairments syndrome specific? Evidence from Williams syndrome and Down's syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(2), 190-204. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2005.01460.x>

Piazza, M. (2010). Neurocognitive start-up tools for symbolic number representations. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), 542-551. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.008>

Piazza, M., Fumarola, A., Chinello, A., & Melcher, D. (2011). Subitizing reflects visuo-spatial object individuation capacity. *Cognition*, 121(1), 147-153.

<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.05.007>

Poletti, C., Díaz-Barriga Yáñez, A., Prado, J., & Thevenot, C. (2023). The development of simple addition problem solving in children : Reliance on automatized counting or memory retrieval depends on both expertise and problem size. *Journal of Experimental Child Psychology*, 234, 105710. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105710>

Rousselle, L., Dembour, G., & Noël, M.-P. (2013). Magnitude Representations in Williams Syndrome : Differential Acuity in Time, Space and Number Processing. *PLoS ONE*, 8(8), e72621. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072621>

Rousselle, L., & Noël, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities : A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005>

Schleifer, P., & Landerl, K. (2011). Subitizing and counting in typical and atypical development. *Developmental Science*, 14(2), 280-291. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00976.x>

Schneider, M., Beeres, K., Coban, L., Merz, S., Susan Schmidt, S., Stricker, J., & De Smedt, B. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence : A meta-analysis. *Developmental Science*, 20(3), e12372. <https://doi.org/10.1111/desc.12372>

Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., & Luwel, K. (2018). Associations of Number Line Estimation With Mathematical Competence : A Meta-analysis. *Child Development*, 89(5), 1467-1484. <https://doi.org/10.1111/cdev.13068>

Sella, F., Lanfranchi, S., & Zorzi, M. (2013). Enumeration skills in Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 34(11), 3798-3806. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.07.038>

Sherman, S. L., Allen, E. G., Bean, L. H., & Freeman, S. B. (2007). Epidemiology of Down syndrome. *Mental Retardation and Developmental*

*Disabilities Research Reviews*, 13(3), 221-227.  
<https://doi.org/10.1002/mrdd.20157>

Siegler, R., & Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction : How do children know what to do? In C. *Origins of Cognitive Skills*,.

Simms, V., Karmiloff-Smith, A., Ranzato, E., & Van Herwegen, J. (2020). Understanding Number Line Estimation in Williams Syndrome and Down Syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50(2), 583-591. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04268-7>

Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of Numbers by Human Infants. *Science*, 210(4473), 1033-1035. <https://doi.org/10.1126/science.7434014>

Stock, P., Desoete, A., & Roeyers, H. (2009). Mastery of the counting principles in toddlers : A crucial step in the development of budding arithmetic abilities? *Learning and Individual Differences*, 19(4), 419-422. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.03.002>

Strømme, P., Bjømstad, P. G., & Ramstad, K. (2002). Prevalence Estimation of Williams Syndrome. *Journal of Child Neurology*, 17(4), 269-271. <https://doi.org/10.1177/088307380201700406>

Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101(1), 80-102. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.1.80>

Turner, S., & Alborz, A. (2003). Academic attainments of children with Down's syndrome : A longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 73(4), 563-583. <https://doi.org/10.1348/000709903322591244>

Udwin, O., & Yule, W. (1991). A cognitive and behavioural phenotype in williams syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(2), 232-244. <https://doi.org/10.1080/01688639108401040>

Van Herwegen, J., Ansari, D., Xu, F., & Karmiloff-Smith, A. (2008). Small and large number processing in infants and toddlers with Williams

syndrome. *Developmental Science*, 11(5), 637-643.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00711.x>

Van Herwegen, J., & Simms, V. (2020). Mathematical development in Williams syndrome: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities*, 100, 103609. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2020.103609>

Wang, P. P. (1993). Williams Syndrome, Down Syndrome, and Cognitive Neuroscience. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 147(11), 1246. <https://doi.org/10.1001/archpedi.1993.02160350120019>

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36(2), 155-193. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90003-3)

Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1-B11. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(99)00066-9)

Zampini, L., & D'Odorico, L. (2013). Vocabulary development in children with Down syndrome : Longitudinal and cross-sectional data. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 38(4), 310-317. <https://doi.org/10.3109/13668250.2013.828833>

Zhang, Y., Liu, T., Chen, C., & Zhou, X. (2019). Visual form perception supports approximate number system acuity and arithmetic fluency. *Learning and Individual Differences*, 71, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2019.02.008>