

**UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD. LYON 1**

**INSTITUT DES SCIENCES et TECHNIQUES DE READAPTATION**

-----  
**Directeur : Professeur Yves MATILLON**  
-----

**COMPTAGE ET EVALUATION DES LONGUEURS :  
ETUDE CHEZ DES ENFANTS TOUT - VENANT DE 4 ET 5 ANS.**

**MEMOIRE présenté pour l'obtention du  
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE**

**par**

**GROSFILLEY Julie**

**LACAZE Stéphanie**

**Autorisation de reproduction**



**Professeur Eric TRUY  
Responsable de l'enseignement**

**LYON, le 5 juillet 2007**

**N° 1383**

## UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

<b>Président</b>	<b>Pr. Lionel COLLET</b>
<b>Vice-Président CA</b>	<b>Pr. Joseph LIETO</b>
<b>Vice-Président CEVU</b>	<b>Pr. Daniel SIMON</b>
<b>Vice-Président CS</b>	<b>Pr. Jean-François MORNEX</b>
<b>Secrétaire Général</b>	<b>M. Gilles GAY</b>

\*\*\*\*

### FEDERATION SANTE

U.F.R. de Médecine LYON GRANGE BLANCHE	Directeur	<b>Pr. MARTIN Xavier</b>
U.F.R de Médecine LYON R.T.H. LAENNEC	Directeur	<b>Pr. COCHAT Pierre</b>
U.F.R de Médecine LYON-NORD	Directeur	<b>Pr. ETIENNE Jérôme</b>
U.F.R de Médecine LYON-SUD	Directeur	<b>Pr. GILLY François Noël</b>
U.F.R d'ODONTOLOGIE	Directeur	<b>Pr. ROBIN Olivier</b>
INSTITUT des SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES	Directeur	<b>Pr. LOCHER François</b>
INSTITUT des SCIENCES et TECHNIQUES de READAPTATION	Directeur	<b>Pr. MATILLON Yves</b>
DEPARTEMENT de FORMATION ET CENTRE DE RECHERCHE EN BIOLOGIE HUMAINE	Directeur	<b>Pr. FARGE Pierre</b>

## FEDERATION SCIENCES

Centre de RECHERCHE ASTRONOMIQUE DE LYON - OBSERVATOIRE DE LYON	Directeur	<b>M. GUIDERDONI Bruno</b>
U.F.R. des SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES	Directeur	<b>M. COLLIGNON Claude</b>
I.S.F.A. (Institut de SCIENCE FINANCIERE ET d'ASSURANCES)	Directeur	<b>Pr. AUGROS Jean-Claude</b>
U.F.R. de GENIE ELECTRIQUE ET DES PROCEDES	Directeur	<b>Pr. CLERC Guy</b>
U.F.R. de PHYSIQUE	Directeur	<b>Pr. HOAREAU Alain</b>
U.F.R. de CHIMIE ET BIOCHIMIE	Directeur	<b>Pr. PARROT Hélène</b>
U.F.R. de BIOLOGIE	Directeur	<b>Pr. PINON Hubert</b>
U.F.R. des SCIENCES DE LA TERRE	Directeur	<b>Pr. HANTZPERGUE Pierre</b>
I.U.T. A	Directeur	<b>Pr. COULET Christian</b>
I.U.T. B	Directeur	<b>Pr. LAMARTINE Roger</b>
INSTITUT des SCIENCES ET DES TECHNIQUES DE L'INGENIEUR DE LYON	Directeur	<b>Pr. LIETO Joseph</b>
U.F.R. de MECANIQUE	Directeur	<b>Pr. BEN HADID Hamda</b>
U.F.R. de MATHEMATIQUES	Directeur	<b>Pr. CHAMARIE Marc</b>
U.F.R. D'INFORMATIQUE	Directeur	<b>Pr. AKKOUCHE Samir</b>

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE READAPTATION**

**FORMATION ORTHOPHONIE**

DIRECTEUR ISTR  
**Pr. MATILLON Yves**

DIRECTEUR de la FORMATION  
**Pr. TRUY Eric**

DIRECTEUR des ETUDES  
**BO Agnès**

DIRECTEUR de la RECHERCHE  
**Dr. WITKO Agnès**

RESPONSABLES de la FORMATION CLINIQUE  
**PERDRIX Renaud**  
**MORIN Elodie**

CHARGÉE du CONCOURS D'ENTREE  
**PEILLON Anne**

SECRETARIAT DE DIRECTION ET DE SCOLARITE  
**BADIOU Stéphanie**  
**CLERC Denise**

Nous remercions Michel Fayol pour sa disponibilité et son investissement à nos côtés. Sa gentillesse et sa patience nous ont permis de mener à bien ce travail dans une ambiance toujours sereine.

Nous remercions Agnès Witko, qui a cru dès le début en notre projet et nous a soutenues avec chaleur tout au long de sa réalisation.

Merci à Anne-Laure Charlois pour ses conseils avisés et le temps qu'elle a consacré à notre travail.

Merci à Mme Métral pour ses remarques constructives.

Merci à Fanny Briand, orthophoniste au CAMSP de Décines, d'avoir pris le temps de nous accueillir.

Nous remercions les enseignants des écoles Jean Macé de Lyon et Fleuri Marceau d'Oullins, ainsi que le personnel du Centre de Loisirs Municipal de Bagnères de Bigorre, de nous avoir gentiment accueillies.

Un grand merci à tous les enfants qui se sont prêtés au jeu, et sans qui ce travail n'aurait pu aboutir.

Nous remercions nos proches, familles et amis, pour leur soutien.

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>PARTIE THEORIQUE.....</b>	<b>4</b>
<b>PRESENTATION DES HYPOTHESES .....</b>	<b>20</b>
<b>PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION .....</b>	<b>23</b>
<b>PRESENTATION DES RESULTATS .....</b>	<b>32</b>
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>47</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>61</b>

## **INTRODUCTION**

Au cours de ces trente dernières années, beaucoup de recherches ont été menées sur les procédures de quantification, chez l'humain ou même chez l'animal. Les « procédures de quantification » (terme de Klahr & Wallace, 1976) sont les moyens permettant de déterminer la numérosité, c'est à dire le nombre d'éléments, d'une collection ou d'une séquence. On distingue trois procédures de quantification différentes : le subitizing, l'estimation globale et le dénombrement.

Les résultats obtenus par ces recherches prouvent l'existence de deux types de représentations de la quantité : une représentation pré verbale présente chez les animaux, les nourrissons, les enfants et les adultes schématisable sous forme d'une ligne numérique mentale (à l'œuvre dans le subitizing, l'estimation globale, et les calculs approximatifs), et une représentation symbolique verbale de la quantité, grâce à la maîtrise du système de numération (chaîne numérique, dénombrement), qui n'existe que chez les humains.

Ces résultats ont influencé les recherches menées sur les représentations numériques mentales, qui ont dû intégrer la notion de « sémantique du nombre ».

Le modèle de Mc Closkey (1985) s'inspire des études neuropsychologiques sur les traitements lexicaux et des données empiriques conduites sur les patients cérébrolésés présentant des dissociations dans leurs performances en compréhension ou en production (Mc Closkey, 1992). Ce modèle a servi de référence pendant plusieurs années pour la recherche et l'analyse de données.

Ce modèle comporte trois composantes : un système de compréhension des nombres, un système de production des nombres et un système de calcul. A ces trois systèmes principaux s'ajoute une représentation abstraite en base 10, qui fournit la sémantique des nombres, passage obligé pour toutes les tâches numériques (transcodage, calcul, ...). Cette représentation serait fondée sur le système numérique arabe : chaque nombre s'exprimerait sous forme de puissance de dix, à laquelle est associée une quantité correspondant à la valeur de la forme numérique traitée. (Par exemple, 235 serait représenté par  $\{2\}10^{\text{exp}2} \{3\}10^{\text{exp}1} \{5\}10^{\text{exp}0}$ ). Cette représentation sémantique serait amodale, puisque pour toute tâche une représentation sémantique unique serait construite. Mc Closkey (1992) considère que le traitement numérique dépend de représentations mentales indépendantes du langage. Par conséquent la représentation sémantique des nombres ne serait pas influencée par leur format de présentation ni par la tâche effectuée. Ce modèle rencontre deux critiques majeures : il semble difficilement admissible que la représentation sémantique soit uniquement en base décimale, et que toute tâche, même la plus simple, active automatiquement cette représentation. D'autre part, cette conception de l'architecture de l'arithmétique cognitive se

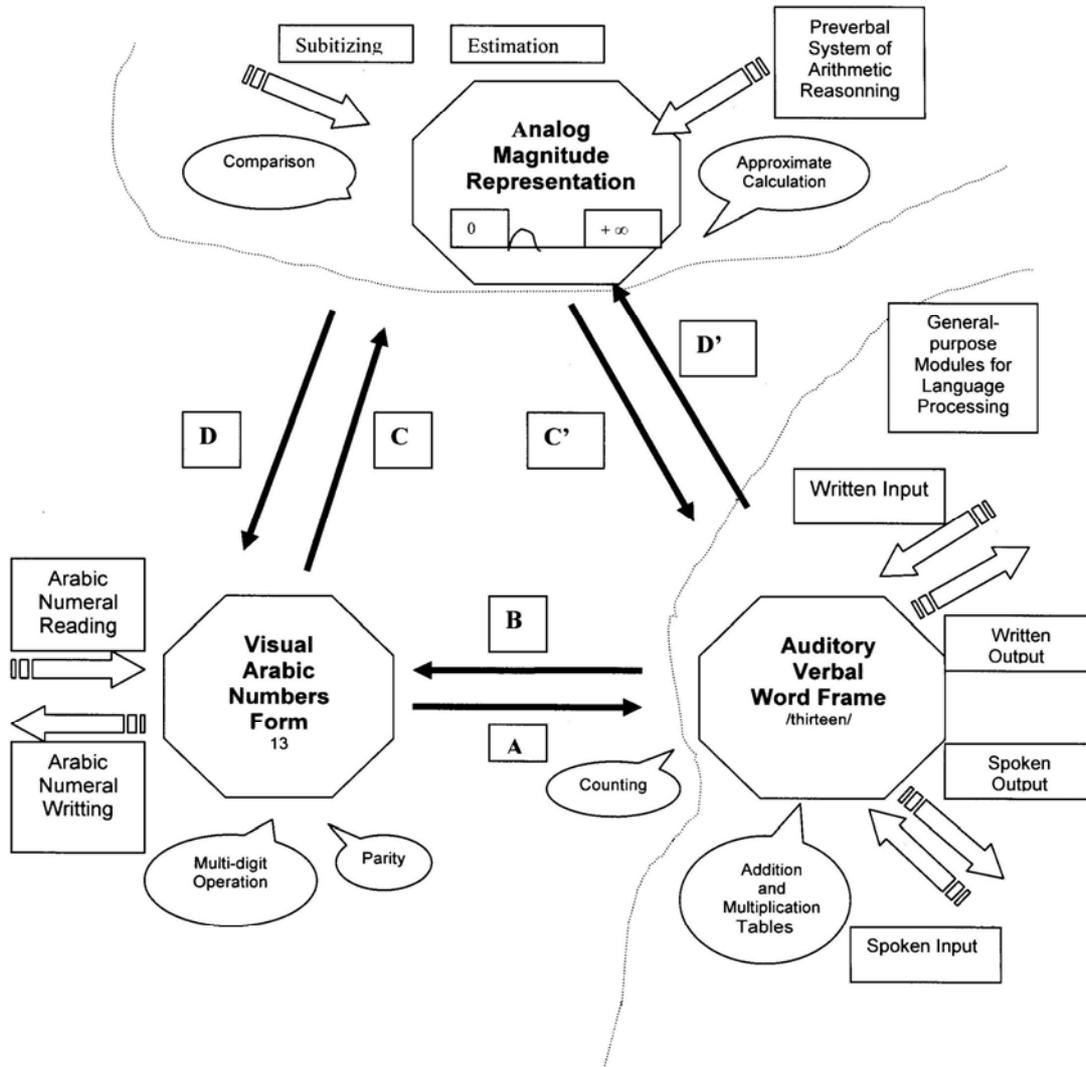


Schéma 1 : Représentation schématique du modèle du triple code (Dehaene, 1992)

Les trois types de représentations du nombre sont modélisés par les octogones, les flèches larges indiquent les inputs, les outputs et les traitements possibles pour chaque type de représentation.

prête mal à la mise en relation avec les performances numériques de l'enfant et de l'animal (Fayol, Perros & Seron, 2004).

Dehaene (1992) a élaboré le modèle du triple – code (voir schéma 1) en synthétisant les données issues de la pathologie (étude sur des patients cérébrolésés), de la neuropsychologie (dans une perspective anatomo-fonctionnelle) et des recherches portant sur les performances numériques des adultes, des nouveau-nés et des animaux. Ce modèle repose sur deux hypothèses : les nombres seraient représentés mentalement sous trois formats différents (verbal, arabe et analogique) et chaque procédure numérique serait liée à un input et un output spécifique.

La sémantique des nombres serait fournie par le format analogique, sous forme d'une ligne numérique mentale non graduée orientée vers la droite, et plus compressée à gauche.

Le modèle du triple-code est compatible avec l'idée que le langage a un impact différent sur les traitements numériques selon les tâches, contrairement à ce qu'avancait McCloskey. Cet impact est central (il affecte la forme de la représentation) ou périphérique (le mode d'accès à la représentation est affecté) car les trois systèmes interconnectés de représentations numériques sont associés à des activités arithmétiques différentes.

Notre étude de l'influence du système symbolique de numération sur la ligne numérique mentale peut se faire dans le cadre du modèle de Dehaene car, bien qu'il ne soit pas développemental, ce modèle décrit les différents types de représentation numérique présents chez l'adulte, et peut donc s'adapter à une recherche chez l'enfant.

Nous nous proposons d'étudier les caractéristiques de la ligne numérique mentale chez des enfants tout venant en fin d'acquisition de la maîtrise du système numérique verbal, dans le cadre du modèle du triple - code. Nous allons donc détailler les codes analogique et verbal, qui présentent un intérêt pour notre recherche, ainsi que les hypothèses de passage de la représentation pré verbale à la représentation verbale de la quantité. Nous aborderons ensuite les questions liées à l'évolution de la ligne numérique mentale.

## **PARTIE THEORIQUE**

## **I. Code arabe**

### **A. Définition**

Le code arabe est la forme visuelle des nombres arabes. Ici, les nombres sont représentés sous forme de suite de chiffres, dans un espace de travail visuo-spatial interne (Hayes, 1973).

### **B. Caractéristiques**

Le code indo-arabe est un code symbolique et asémantique, car le chiffre en lui-même ne porte aucune trace de la quantité, ni de la nature des quantités.

Nous ne détaillerons pas ce pôle du modèle car son importance est tout à fait secondaire pour notre étude.

## **II. Code analogique**

### **A. Définition**

La représentation des quantités peut être conçue comme une ligne numérique compressé à gauche et orientée, qui obéirait à la loi de Weber (plus les quantités sont grandes plus elles sont imprécises). Cette ligne numérique mentale serait présente chez les animaux, les enfants, même très jeunes, et chez les adultes. A l'inverse des codes visuel et verbal fondés sur l'unité (le chiffre et le mot), le code analogique n'a pas d'unité de mesure. Il est donc imprécis car sans mesure de référence. La signification (la sémantique) des nombres ne se retrouve que dans ce format du nombre.

On parle de représentation préverbale de la quantité, car elle est indépendante de la maîtrise des systèmes symboliques langagiers dévolus au traitement de la quantité et car elle apparaît avant le langage.

La sémantique des nombres serait fournie par le processus qui associe la numérosité à la magnitude, et les symboles à la magnitude, ainsi que par les processus qui opèrent sur ces magnitudes.

Il est clair que la signification des nombres ne se limite pas à la connaissance de la quantité mais englobe également des connaissances encyclopédiques sur ces nombres (1914,

1789, ...). La représentation sémantique du modèle pourra donc être enrichie de traits sémantiques non-quantitatifs.

## **B. Caractéristiques de la ligne numérique mentale**

### **1. Effets de distance et de taille**

L'activation d'une représentation analogique des nombres est attestée par l'existence de deux effets principaux : l'effet de distance et l'effet de taille.

L'effet de distance se manifeste par le fait que le temps de comparaison de deux nombres diminue lorsque la distance entre les deux nombres augmente. Par exemple, on compare plus rapidement 10 et 40 que 38 et 40.

L'effet de taille se caractérise ainsi : plus les nombres sont grands, plus la distance entre ces nombres sur la ligne numérique diminue. Par exemple, la distance entre 9 et 10 est supérieure à la distance entre 55 et 56.

Ces effets signent l'activation d'une représentation analogique de la quantité sous la forme d'une ligne numérique mentale, et ont été observés chez l'adulte (Brybaert, 1995). L'effet de distance est également présent chez l'enfant (Xu & Spelke, 2000) et est déjà présent chez l'animal.

### **2. Effet SNARC**

L'effet SNARC (Spatial Numerical Association of Response Codes) atteste, lui, de l'orientation spatiale de la ligne numérique mentale : les petits nombres sont associés à la gauche alors que les grands nombres le sont à la droite. Cet effet a été mis en évidence, pour la première fois, lors de tâches de jugement de parité chez des adultes sains par Dehaene, Bossini & Giraud (1993). Cet effet a également été observé lors de tâches numériques moins complexes. L'effet SNARC émergerait chez les enfants dès le CE2. (Beech, Foley Hiel & Ryan, 1999).

Deux hypothèses ont été avancées pour expliquer le caractère spatial de l'organisation des nombres dans le cerveau de l'homme : cette organisation dépendrait du sens de lecture (les sujets lisant de droite à gauche montrent un effet SNARC inversé) ou dépendrait plus largement de l'organisation générale des informations dans la culture du sujet, dont le sens de lecture lui-même est une conséquence. De plus, chez les enfants souffrant de

dyspraxie visuospatiale, mais ayant un bon niveau de langage (dissociation entre QIV et QIP au WISC III) cette orientation spatiale de la ligne numérique mentale ne s'effectue pas correctement au cours de leur développement (Bachot, Gevers, Fias & Roeyers, 2005).

### **C. Chez les animaux et les bébés**

Les espèces animales étudiées, les pigeons (Roberts & Mitchell, 1994), les rats (Breukelaar & Dalrymple - Alford, 1998) ou les primates (Brannon & Terrace, 1998, 2000 ; Hauser, Carey & Hauser 2000) montrent une sensibilité à la numérosité. Cette sensibilité se retrouve chez le nouveau-né humain (Antell & Keating, 1983 ; Bjeljac – Babic, Bertoncini & Mehler, 1991 ; Xu & Spelke, 2000). Des représentations préverbaux de la magnitude sont donc présentes chez les animaux et les nouveau-nés.

Chez le macaque, les neurones des régions pré frontale et pariétale antérieure gauche ont une activité spécifiquement liée à la perception de la quantité (Pinel, 2004). Ces régions semblent être les homologues des régions liées au nombre chez l'humain, ce qui renforce l'hypothèse d'un ancrage phylogénétique des compétences numériques humaines.

### **D. Chez les enfants**

Les études ont montré que des enfants âgés de seulement 4 mois étaient sensibles aux changements de numérosité (Spelke & Gelman, 1990). De plus, les enfants ont des attentes par rapport au résultats de certaines transformations comme les ajouts et les retraits (Koechlin, Dehaene & Mehler, 1997 ; Uller, Carey, Huntley – Fenner & Klatt, 1999).

En 2001, Pasini & Tessari ont montré que les processus de quantification ont une spécialisation hémisphérique en fonction de la taille des collections quantifiées. L'hémisphère gauche serait mis en jeu lors du dénombrement, quelle que soit la taille de la collection à quantifier (traitement analytique), alors que l'hémisphère droit serait spécialisé pour traiter les ensembles d'au plus quatre éléments (traitement global de l'information et hémisphère traitant le visuel). Ces éléments sont en faveur de l'existence de deux procédés de nature différente, le dénombrement fonctionnant de manière sérielle et le subitizing fonctionnant de manière parallèle (Lecointre, Lépine & Camos, 2005). La ligne numérique mentale serait donc utilisée par les enfants pour quantifier, même lorsqu'ils sont en cours d'acquisition de la chaîne numérique verbale et du dénombrement. De plus, l'activité cérébrale observée chez des

enfants de 5 ans et des adultes effectuant de tâches de comparaison est la même (Temple & Posner, 1998).

### **E. Chez les adultes**

La représentation pré verbale perdure chez l'adulte, même performant et entraîné en arithmétique. La persistance de l'effet de distance lors de tâches de comparaison de nombres chez l'adulte sain montre que les représentations mentales sous tendant les performances numériques chez les adultes sont le prolongement des représentations mentales présentes chez les enfants, et ce malgré la maîtrise des systèmes symboliques (langage).

L'observation des stratégies mobilisées par des adultes normaux effectuant des calculs complexes a amené Dehaene & Cohen (2000) à postuler que l'élaboration de la représentation sémantique de la quantité améliore la réussite du calcul. Quand les sujets ne peuvent récupérer directement en mémoire les faits arithmétiques. De plus, le système sémantique est sollicité pour vérifier la plausibilité de la récupération arithmétique faite.

On sait que chez l'adulte la représentation préverbale présente une certaine malléabilité, puisque des adultes entraînés peuvent améliorer leurs performances, mais on ignore encore comment une modification de ce type est possible et les rapports entretenus avec le langage (Fayol, Perros & Seron, 2004).

L'être humain (contrairement aux animaux) possède la capacité d'utiliser à la fois une représentation verbale et non verbale de la quantité en fonction du type de représentation nécessaire au traitement numérique.

On observe en effet l'activation de différentes zones cérébrales (Dehaene, 2003). Les sillons intra pariétaux seraient le siège de l'appréhension de la quantité. Même si elles peuvent être activées en même temps que d'autres zones cérébrales, ces régions sont indispensables pour le traitement de la quantité, et ce quelle que soit la culture. Le système intra - pariétal fonctionne en interaction avec le système de représentation verbale de la quantité, situé au niveau de la région frontale inférieure gauche et des régions pariétales inférieures bilatérales (Dehaene, 2003). Si une lésion focale (accident vasculaire cérébral) ou développementale (syndrome de Turner,...) perturbe le fonctionnement de cette zone, cela entraîne des difficultés à appréhender la quantité, et donc la notion de nombre (dyscalculie), sans possibilité connue de remédiations (Dehaene & Cohen, 2000).

## **F. Utilisation**

Parmi les procédures de quantification utilisées par l'être humain, les tâches d'estimation (qu'elle soit précise, comme le subitizing, ou imprécise, comme l'évaluation globale), et de comparaison de quantités activent le code analogique.

Les animaux et les nouveau-nés disposeraient de deux systèmes pour traiter les quantités : un système d'estimation approximatif pour les grandes quantités, commun à toutes les espèces, et un système précis pour les petites quantités, déclenché par la perception d'une collection de moins de quatre éléments (Vergut, Fias & Stevens, 2005).

### **1. Subitizing**

Lors d'une tâche de quantification chez l'adulte, le subitizing se caractérise par le fait qu'il n'y a pratiquement aucune augmentation du temps nécessaire à la quantification lorsque les collections ne dépassent pas quatre éléments, alors que les temps de comparaison augmentent brutalement et de manière linéaire, en fonction du nombre d'éléments à comparer, pour les collections plus grandes. En effet, au-delà de quatre éléments, la comparaison nécessite la mise en œuvre de processus de comptage, qui prennent plus de temps que le subitizing. Ainsi, l'adulte peut, sans compter, percevoir de manière exacte la cardinalité d'une collection de un, deux, trois ou quatre éléments (Lecointre, Lépine & Camos, 2005).

Le subitizing serait donc un processus particulier, utilisable uniquement sur de petites collections. Cette distinction est appuyée par l'étude des compétences numériques des bébés et des animaux, ainsi que par l'évolution des systèmes symboliques numériques des civilisations (Ifrah, 1994 cité par Dehaene, 1997).

Des modèles très différents ont été élaborés pour expliquer le mécanisme du subitizing chez l'enfant.

#### **➤ Modèles théoriques chez l'enfant**

### **Modèles numériques analogiques chez l'enfant**

Malgré certaines différences, ces modèles postulent l'existence d'un mécanisme inné de traitement de la numérosité, d'un sens inné des nombres.

Dans le modèle proto numérique (Dehaene, 1997 ; Dehaene & Cohen, 2000 ; Dehaene & Changeux, 1993), un module inné de détection de la numérosité se développerait progressivement chez le bébé, bien avant l'acquisition des processus symboliques de

traitement de la quantité. La ligne numérique mentale, orientée de gauche à droite, représenterait les quantités dans le cerveau humain. Un accumulateur détecterait les stimulations de l'environnement et projetterait le résultat de ces stimulations sur la ligne numérique. En considérant cette ligne numérique comme plus compressée dans la zone des grands nombres (elle obéit à la loi de Weber), on peut rendre compte des effets de taille et de distance observés lors de tâches de comparaison de nombre chez l'adulte et l'enfant.

## **Explications de nature non numérique chez l'enfant**

On qualifie ces modélisations de «non-numériques» car les compétences numériques précoces ne seraient pas dues à un mécanisme inné de détection de la quantité mais à des mécanismes perceptifs.

Pour expliquer le phénomène du subitizing chez les bébés (limite des capacités de discrimination à trois ou quatre éléments), les chercheurs ont rapproché leurs compétences de celles de l'adulte (Rousselle, 2005).

En 2002, Mix, Huttenlocher et Levine ont montré que dans aucune expérience menée avec des bébés, les variables perceptives n'avaient été contrôlées, alors que naturellement elles varient en fonction du nombre d'éléments. Ainsi, en modalité visuelle, aucune des épreuves n'a contrôlé la surface occupée par les items, ou la somme des périmètres (ou des diamètres). De même, les études utilisant des stimuli séquentiels, auditifs ou visuels, n'ont pas contrôlé la quantité globale de stimulations (sons, surface ou distance parcourue par un élément).

Dans toutes ces expériences, il est donc impossible de déterminer si les bébés ont réagi au changement de numérosité ou aux variations quantitatives non numériques. D'autres études suggèrent même que les bébés seraient plus sensibles aux variations perceptives qu'au changement numérique (Clearfield & Mix, 2001). Feigenson, Carey & Spelke (2002) ont obtenus les mêmes conclusions, y compris en réutilisant l'expérience de Wynn (1992) mais en contrôlant cette fois les changements numériques et les changements de surface. Rousselle et Noël (2004) ont également mis en évidence le même phénomène chez des enfants plus grands. Ces résultats amènent donc Mix et ses collaborateurs à penser que les bébés commencent par appréhender indifféremment les quantités discrètes et continues sous forme continue. Ils se baseraient sur les changements des propriétés perceptives comme la longueur, le diamètre, la masse, la surface pour quantifier, et non sur la numérosité. Ils réagiraient en général de façon adaptée aux changements de numérosité puisque, dans l'environnement

naturel, les propriétés perceptives varient avec le nombre, dans la très grande majorité des situations.

Dans la littérature, quelques données restent cependant difficilement interprétables dans le cadre de l'hypothèse perceptive : les bébés seraient sensibles à certains indices perceptifs directs selon Uler Carey, Huntley – Fenner & Klatt, 1999; et certaines études ont contrôlé tous les paramètres perceptifs et ont abouti à des résultats non explicables par l'hypothèse perceptive (Wynn, Bloom & Chiang, 2002).

## **Conclusion**

Les modèles numériques ont été sérieusement critiqués par l'hypothèse perceptive, qui a montré les limites de nombreuses expériences, mais qui n'a pu à elle seule expliquer certaines observations. Actuellement, une alternative est de considérer que les deux mécanismes coexistent chez le bébé, et sont utilisés dans des situations différentes (Rousselle, 2005) : un mécanisme analogique de type perceptif permettant de percevoir les collections sous forme continue, et un mécanisme mobilisant des traitements généraux permettant de représenter mentalement et de manipuler jusqu'à quatre éléments. Cela n'exclut nullement un ancrage phylogénétique des capacités numériques de traitement : la sensibilité aux propriétés numériques discrètes pourrait se développer à partir du mécanisme de représentation continue des quantités, mais elle pourrait également reposer sur des réseaux neuronaux devenant fonctionnels au fil des expériences de l'enfant. Des études suggèrent que la maîtrise du dénombrement (et des principes le sous-tendant) pourrait être un point de départ à la perception des quantités discrètes (Mix, 1999). L'acquisition du langage jouerait également un rôle important dans la construction des représentations numériques, car la compréhension de la notion de symbole est cruciale pour comprendre le nombre (Rousselle, 2005).

### **➤ Développement du subitizing**

Les recherches sur le développement du subitizing chez l'enfant sont peu nombreuses, les modèles utilisés sont issus des études menées chez l'adulte.

Pour certains auteurs (Gallistel, 1988) le subitizing ne joue aucun rôle dans le développement des activités numériques. Pour d'autres auteurs, il serait à la base des capacités numériques chez le jeune enfant, voire même serait fondamental pour l'acquisition des concepts arithmétiques, comme la cardinalité (Klahr & Wallace, 1976). D'autre part, il est

couramment admis que vers six ans, les enfants confrontés à différents types de collections, utilisent les mêmes processus de quantification que les adultes, bien qu'ils soient plus lents (Chi & Klahr, 1975 cité par Lecointre, Lépine & Camos, 2005).

## **2. Estimation globale**

Lorsque la taille de la collection est trop importante, ou que le temps disponible est trop réduit pour utiliser le dénombrement, le processus mis en jeu pour la quantification est l'estimation globale. C'est une procédure qui peut s'appliquer à des quantités discrètes ou continues.

### **➤ Modèles explicatifs de l'estimation**

Comme le soulignent Pesenti & Rousselle (2005), ces modèles ont été proposés pour expliquer les données recueillies sur l'estimation chez l'adulte, et n'ont pas débouché sur des modèles développementaux. De plus, ils ne traitent que de l'estimation de collections discrètes et ne portent pas sur la relation entre numérosité et espace, ainsi que sur l'importance des traitements perceptifs dans la détermination de la numérosité.

### **Perception de la forme (Frith & Frith, 1972) (schéma 2 a)**

C'est une interprétation qui n'a pu rendre compte que de quelques effets observés, comme celui du solitaire, et qui n'a pas été approfondie. L'estimation procéderait par extraction de formes. Les points constituant des groupements significatifs (à cause de leur proximité spatiale ou figurale –leur aspect-) auraient un statut particulier : ils seraient considérés comme de « meilleures » formes, et paraîtraient donc numériquement plus importants.

### **Détection d'aires et de contours (Van Oeffelen & Vos, 1982) et Vos, Van Oeffelen, Tibosh & Allik, 1988) (schéma 2 b)**

Selon cette interprétation, la numérosité perçue serait liée à l'aire totale occupée par les points, et non à leur numérosité réelle. L'aire prise en compte n'est pas celle de la surface globale de la figure formée par l'ensemble des points (qui tient compte du périmètre extérieur défini par les éléments les plus extrêmes), mais celle de la surface partielle qui tient compte des proximités relatives au sein de l'ensemble.

Les points spatialement proches constitueraient donc des agglomérats, et la numérosité serait définie par les contours des agglomérats grâce à la surface. Le contenu de chaque agglomérat serait déterminé par subitizing dans le premier modèle élaboré, mais cette hypothèse n'a pas été retenue pour les autres modèles. Ainsi, il apparaît que le traitement de la quantité ne se ferait pas sur la base de surface globale représentée par l'ensemble des éléments, mais en tenant compte de la proximité de certains éléments.

Le dernier modèle proposé est celui de la zone d'occupation des points (Allik & Tuulmets, 1991). Chaque point activerait une surface circulaire de rayon  $R$  dont il est le centre et la numérosité correspondrait alors à la somme des zones activées. Lorsque la distance entre des points est inférieure à ce rayon, les zones des points se recouvrent. L'apport de ces points à la numérosité de la collection est alors déduit de manière proportionnelle au recouvrement. Cela permet d'expliquer pourquoi des points distribués irrégulièrement dans l'espace sont sous-estimés : il y a plus de zones qui se recouvrent que lorsque les points sont régulièrement répartis, la numérosité paraît donc moins importante.

### ➤ **Données empiriques**

#### **Chez l'adulte**

Lorsque les adultes doivent estimer des collections très importantes d'éléments discrets, ils ont tendance à les sous-estimer (Kaufman et al, 1949, cités par Pesenti & Rouselle, 2005). Mais cette tendance générale est modulée par la disposition spatiale des éléments : selon la disposition des éléments, leur nombre est perçu différemment, ce qui conduit à certaines illusions. Ainsi, des points dispersés sont jugés plus nombreux que des points groupés, (Kreuger, 1972, cité par Pesenti & Rouselle, 2005) ; un ensemble de point largement répartis semble être plus important que plusieurs petits ensembles séparés (illusion du solitaire, Frith & Frith, 1972, cités par Pesenti & Rouselle, 2005). De même, un ensemble irrégulier de points est systématiquement sous-estimé par les adultes, alors qu'un ensemble régulier de points est sur-estimé, même lorsque l'aire totale sur laquelle les points sont répartis est identique (effet « Random Regular Numerosity Illusion » Ginsburg, 1980, cité par Pesenti & Rouselle, 2005). Enfin, l'environnement dans lequel les points sont présentés influence sur la perception de la numérosité : les points paraissent plus nombreux s'ils sont placés près du cadre qui les entoure.

## **Chez l'enfant**

L'estimation globale a été peu étudiée chez l'enfant, car étant donné que l'estimation se fait sur des quantités de taille importante, il faut connaître les noms de nombre correspondants, que les jeunes enfants ne maîtrisent pas forcément.

Néanmoins, dès trois ans, les enfants prennent en compte les paramètres spatiaux pour estimer la taille de collections discrètes, mais ils privilégient les caractéristiques physiques, comme la longueur ou la densité, à la numérosité (Siegel, 1974 cité par Pesenti & Rousselle, 2004).

D'autres études montrent des résultats semblables à ceux des adultes : les collections présentées aléatoirement sont sous-estimées, et les collections où les points sont présentés régulièrement sont surestimées, surtout entre sept et onze ans. L'illusion du solitaire est observée dès huit ans (Frith & Frith, 1972 cités par Pesenti & Rousselle, 2004). Enfin, Newman (1984) a remarqué que, le niveau d'efficacité du comptage (comptage à l'endroit, à l'envers, par sept,...) était un excellent prédicteur des capacités d'estimation d'une collection très importante de points chez des adolescents.

Dans le code analogique, la représentation de la quantité est préverbale : elle ne fait intervenir aucun système symbolique et se développe bien avant l'acquisition du langage. Cette représentation peut être modélisée sous la forme d'une ligne numérique mentale non graduée. Des traces de cette représentation préverbale de la quantité sont présentes chez les animaux et les très jeunes enfants, de plus ce type de représentation reste actif chez les adultes tout - venant, bien qu'ils maîtrisent et utilisent le code verbal. Cette représentation est la seule à porter en elle la sémantique du nombre.

Cette ligne numérique mentale est caractérisée par différentes manifestations : l'effet de taille et l'effet de distance. De plus, son caractère spatial se manifeste par l'effet SNARC.

Elle est mise à contribution lors des tâches de subitizing et d'estimation globale. L'étude des performances à de telles épreuves semble pouvoir nous informer sur la nature et les caractéristiques de la représentation analogique de la quantité.

## **III. Code verbal**

### **A. Définition**

Dans le format de représentation verbale, les nombres sont représentés et manipulés comme des séquences de mots syntaxiquement organisées. A ce niveau, la représentation du

nombre *cinquante-deux* peut être notée comme *dizaine {s5} unité {2}* (McCloskey, Sokol & Goodman, 1986 ; Cohen & Dehaene, 1991). Dans cette notation, des symboles tels que « unités » et {2} dénotent des adresses abstraites qui constituent un lemme (Levelt, 1989) lié aux formes phonologiques et graphémiques du mot (/deu/ ou *deux*).

## **B. Caractéristiques de la représentation verbale**

Le code verbal est un code symbolique et asémantique, car le nom de nombre ne porte en lui-même aucune trace de la quantité rattachée à ce nombre : la chaîne numérique verbale ne code l'augmentation de la quantité que par l'ordre dans lequel les mots-nombres se suivent. Cette représentation verbale des nombres comporte au moins trois aspects : l'acquisition des systèmes verbaux, et les effets directs du langage sur cette acquisition ; les effets indirects du langage, comme l'incidence de la boucle phonologique sur l'apprentissage et la manipulation des faits arithmétiques ; enfin, les problèmes relatifs aux faits arithmétiques eux-mêmes (Fayol, Perros & Seron, 2004).

Les codes verbaux utilisés pour nommer la quantité varient entre les cultures. Cependant, malgré les spécificités culturelles, des principes généraux paraissent universels. L'organisation linguistique du système numérique verbal de chaque langue se manifeste à différents niveaux : la taille du lexique, la complexité syntaxique (relations additives --vingt-quatre-- et multiplicatives --six cents--) qui déterminent la transparence du système en base 10. Une des difficultés d'apprentissage de la chaîne numérique en français concerne les items entre 10 et 16. Ces items ne portent pas en eux-mêmes la trace de l'organisation en base 10, ils doivent donc être appris par cœur par les enfants, sans possibilité de générativité, d'où un apprentissage long. On évalue la maîtrise de la représentation lexicale en demandant de compter le plus loin possible, de 1 en 1 ou de n en n. Chez l'enfant, on obtient ainsi le niveau de maîtrise de la chaîne numérique verbale.

## **C. Utilisation**

La procédure de quantification activant le pôle verbal, symbolique, du modèle est le dénombrement.

### **1. Dénombrement**

Le dénombrement comporte plusieurs composantes : énonciation orale ou mentale de la chaîne numérique, pointage avec les doigts ou les yeux des objets ; coordination de l'énonciation et du pointage. Le bon développement du dénombrement chez l'enfant est extrêmement important pour le développement des habiletés numériques ultérieures.

#### **➤ Modèles théoriques**

Deux points de vue théoriques s'opposent sur le développement du dénombrement.

#### **La théorie des « principes en premier » (Gelman & Gallistel, 1978)**

Ces auteurs postulent cinq principes guidant le dénombrement chez les enfants jeunes : la correspondance terme à terme, le principe d'ordre stable, le principe de cardinalité, le principe d'abstraction, le principe de non-pertinence de l'ordre. Pour ces auteurs, ces principes existeraient de manière innée chez l'enfant, avant même qu'il soit confronté à l'expérience du dénombrement.

#### **La théorie des « principes après » (Briars & Siegler, 1984 ; Fuson, 1988)**

Par opposition à la théorie précédente, les principes du dénombrement sont postulés acquis par la répétition des expériences de dénombrement, effectuées par imitation de l'adulte et des autres enfants. L'enfant appréhenderait d'abord le dénombrement comme une activité sans but précis, puis il découvrirait ses liens avec la cardinalité et son intérêt. Cette position ne réfute cependant pas que les enfants naissent avec une certaine sensibilité au nombre. L'enfant découvrirait peu à peu les buts du dénombrement en faisant le lien entre le dénombrement et ses capacités précoces de discrimination de la quantité et de subitizing.

#### **➤ Développement des capacités de dénombrement**

Parallèlement au développement des composantes du dénombrement, l'enfant va acquérir et améliorer ses stratégies d'utilisation.

### **Acquisition de la chaîne numérique**

C'est une acquisition longue et difficile : elle commence vers deux ans et demi, et ne se termine que vers six ans, où les enfants deviennent capables de compter jusqu'à 100. Cet apprentissage nécessite deux types d'acquisition : en français, les enfants doivent mémoriser le lexique de base (chiffres de 1 à 9) et les items « particuliers » (de 10 à 16) (Deloche & Seron, 1987), puis ils doivent comprendre et appliquer les règles de formation des autres nombres. Ensuite, ils devront automatiser leur énonciation de la chaîne numérique verbale, le manque d'automatisation étant un facteur de non efficacité du dénombrement (Nairne & Healy, 1983, cités par Lecointre, Lépine & Camos, 2005).

### **Pointage séquentiel des objets**

Le type de pointage (visuel ou manuel) évolue en fonction de l'âge, les plus jeunes enfants utilisant préférentiellement un pointage manuel alors que les plus âgés préfèrent un pointage visuel. (Gelman & Meck, 1983). L'utilisation du pointage manuel lors de l'apprentissage du dénombrement s'explique par plusieurs hypothèses : coût en mémoire de travail allégé (Alibali & DiRusso, 1999), aide à l'acquisition du principe de correspondance terme à terme (Graham, 1999).

### **Coordination de l'énonciation et du pointage**

Plusieurs auteurs relèvent que la majorité des erreurs en dénombrement sont des erreurs de coordination entre énonciation de la chaîne numérique et pointage (Gelman, & Gallistel, 1978). La coordination énonciation/pointage dépendrait de la complexité des activités d'énonciation et de pointage, et de la synchronisation entre l'accès au nombre et la désignation des éléments à dénombrer (Camos, Fayol & Barrouillet, 1999). A ces contraintes s'ajoutent celles de l'attention et du coût cognitif.

On considère que, vers 6 ans, le dénombrement est acquis (Lecointre, Lépine & Camos, 2005). Une fois que les composantes du dénombrement sont acquises, l'enfant n'a pas encore l'efficacité d'un adulte : il faut qu'il perfectionne ses stratégies pour être plus rapide tout en faisant moins d'erreurs.

#### **IV. Liens entre les codes**

Dans le modèle du triple-code, des liens entre tous les pôles du modèle sont possibles en fonction du type de tâche à effectuer. Dans le cadre de notre mémoire, seules les conversions entre les pôles verbal et analogique du modèle nous intéressent.

La conversion du format verbal (conversion C') au format analogique procède par approximation (on arrondit à la dizaine supérieure) du nombre, puis par activation de la portion correspondante de la ligne numérique mentale.

#### **V. Développement des relations entre les représentations pré verbale et verbale**

Contrairement à ce que laisseraient supposer les capacités précoces de comparaison et d'évaluation de la quantité, un long développement est nécessaire pour que les enfants sachent à quelle quantité précise fait référence tel nom de nombre, alors qu'ils savent beaucoup plus tôt qu'un nom de nombre renvoie à une quantité. Cette difficulté d'acquisition est aussi tout aussi difficile à expliciter dans le cadre de la perspective empiriste (où l'apprentissage se ferait par l'association entre la dénomination et la quantité) que dans le modèle innéiste de Gelman & Gallistel (1978) (théorie des principes en premier).

Selon Fayol (2002), l'acquisition de la signification cardinale des noms de nombre est liée à deux problèmes : l'abstraction du codage des quantités dans les dénominations, et la catégorisation du lexique des nombres.

Le passage de la représentation pré verbale au codage verbal de la quantité est une étape délicate pour les enfants : ils doivent en effet réussir à évoquer mentalement des quantités, à partir de dénominations abstraites car conventionnelles, sans prendre en compte les caractéristiques physiques des objets, et en plus ils doivent comprendre que c'est l'ordre des nombres qui code l'augmentation de la quantité. Cela pose des problèmes aux enfants de toutes les cultures, puisque la lenteur d'acquisition de la chaîne numérique de 1 à 10 est la même pour les enfants de culture asiatique et occidentale (Miller, 1995 cité par Fayol, Perros & Seron, 2004).

La mise en place des associations entre langage et cardinalité semble obéir aux mêmes mécanismes que ceux opérant pour les autres types de catégorisation. Le langage jouerait donc un rôle crucial dans cette étape, puisque la maîtrise de la dimension cardinale du lexique permet d'obtenir un critère d'équivalence entre deux collections. C'est donc un outil

cognitif majeur facilitant la constitution de la cardinalité. Il devrait donc y avoir en retour une augmentation de la précision de la représentation analogique de la quantité, puisque la cardinalité est acquise. Or aucune étude n'a étudié cet impact.

La maîtrise des systèmes symboliques comme le langage, en particulier l'acquisition de la chaîne numérique verbale et des procédures explicites de comptage, est supposée être le principal facteur de développement de la représentation initiale de la quantité à un système plus efficace propre à l'humain. Malgré ce développement, la persistance de l'effet de distance, même chez des adultes, montre que la représentation initiale reste prégnante.

En ce qui concerne l'estimation globale sur des quantités continues, une des rares études la concernant a été menée par Newman & Berger en 1984.

Le but de cette étude était d'examiner comment des enfants de 6 à 9 ans utilisent leur capacité de comptage et des stratégies de comptage variées pour faire des estimations numériques sur des traits continus. Leur hypothèse était que l'augmentation des capacités et des stratégies de comptage est associée à une augmentation croissante de la précision des estimations. Il était demandé à chaque enfant d'estimer la position d'un point sur une ligne verticale où seules les extrémités étaient indiquées numériquement, l'enfant devait ensuite expliquer quelle stratégie il avait utilisée. Les performances des enfants suggèrent qu'en fonction de leur âge les enfants abordent la tâche différemment, selon la position du point cible. Bien que tous les enfants de l'étude aient la capacité de compter à partir de 1, six tâches révèlent un grand écart de performances, d'où les auteurs ont tiré une mesure de l'aisance de comptage.

Les explications des enfants après l'estimation ont été classées en quatre groupes, déterminant un niveau de stratégie (direction du comptage, et point de départ par rapport à la position de la cible). Plus le niveau d'utilisation du comptage était élevé, plus la précision de l'estimation était grande, ce sans tenir compte de l'âge de l'enfant.

## **PRESENTATION DES HYPOTHESES**

## **Problématique**

Le but général de notre recherche est d'étudier les caractéristiques de la ligne numérique mentale.

Nous abordons cette question en étudiant la manière dont les enfants traitent la représentation des longueurs.

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'évolution de cette représentation en fonction du niveau de maîtrise du système numérique langagier (les mots de nombre).

Nous nous appuyons pour cela sur l'analyse des principales caractéristiques de la ligne numérique mentale décrites dans la littérature, analyse que nous conduisons en décrivant l'évolution des effets de distance et de taille chez les jeunes enfants.

## Hypothèses

Au cours de l'apprentissage du système symbolique de la numération verbale, l'enfant précise vraisemblablement sa compréhension de la notion de quantité, ce qui devrait avoir en retour une influence sur la précision de la représentation pré-verbale de la quantité. Or, cette possible influence de la maîtrise des systèmes symboliques de numération sur la représentation pré verbale n'a pas encore été étudiée.

En 1984, Newman et Berger (1984) ont montré que, chez des enfants de 6 à 9 ans, plus la maîtrise du comptage et des stratégies d'utilisation du comptage était grande, meilleure était la précision de l'estimation globale, et ce quel que soit l'âge des enfants. Toutefois, seule la tâche d'estimation globale testait la représentation analogique pré-verbale de la quantité, et le comptage était évalué lors de son utilisation pour placer la cible lors de la tâche d'estimation globale, et non de manière indépendante. Il était donc impossible d'estimer l'éventuel impact de la connaissance verbale par l'estimation de la tâche.

Dans le présent travail, nous allons étudier chez des enfants plus jeunes (4 et 5 ans), chez qui les différences inter-individuelles de maîtrise des systèmes numériques langagiers sont importantes, l'évolution de l'estimation des longueurs en fonction de la connaissance de la ligne numérique mentale et des caractéristiques de la tâche, notamment la taille des supports et l'empan des longueurs à évaluer. En proposant différentes tâches testant, d'une part, la ligne numérique mentale et, d'autre part, la chaîne numérique verbale, nous étudierons les éventuelles corrélations entre les résultats obtenus à ces deux types de tâches.

Notre hypothèse principale est que la maîtrise de la chaîne numérique verbale accroît la précision de la ligne numérique mentale. Ainsi, mieux les enfants maîtriseront la chaîne numérique verbale et auront des performances élevées dans ce domaine, meilleures seront leurs performances dans l'épreuve d'évaluation des longueurs.

Nous attendons la manifestation d'effets de taille et de distance lors de l'épreuve d'estimation globale des longueurs chez les enfants. Les petites valeurs devraient être placées plus précisément que les grandes par tous les sujets, en raison de compressibilité de la ligne numérique mentale et des effets décrits dans la littérature.

**PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION**

## **I. Procédure**

Nous avons élaboré, à l'aide d'un pré test, différentes tâches, réparties en deux catégories. D'une part, certaines testent la chaîne numérique verbale et, d'autre part, certaines testent la représentation pré verbale de la quantité.

### **A. Pré-test**

Notre pré-test a été effectué pendant le mois de mai 2006 auprès de 20 enfants, scolarisés en moyenne section de maternelle dans une école privée du 5<sup>ème</sup> arrondissement de Lyon. 15 enfants étaient âgés de 4 ans, et 5 étaient âgés de 5 ans.

La passation était individuelle et durait une dizaine de minutes par enfant.

D'abord, nous avons demandé à chaque enfant, son âge, ainsi que la main avec laquelle il dessine.

Puis nous leur avons fait une démonstration avec du matériel trouvé sur place. Nous avons construit devant chaque enfant une échelle en empilant trois cubes, puis nous avons fait grimper une petite poupée sur l'échelle en expliquant :

« Tu vois, la petite poupée va grimper sur l'échelle. Elle commence par monter sur le 1, puis sur le 2, et après elle va monter sur le 3, tout en haut. »

Nous avons laissé chaque enfant manipuler le matériel.

Ensuite, nous leur avons demandé de placer certaines valeurs sur des traits que nous avons tracés à la règle sur des feuilles A 5.

Nous avons fait varier :

- La présentation du trait (horizontal ou vertical)
- La longueur du trait

Ce pré-test nous a permis de préciser, en fonction des performances et des comportements observés, notre population définitive d'enfants, le matériel, et la démarche expérimentale de notre protocole.

Nous avons réalisé que la démonstration concrète avec les objets était absolument nécessaire pour que les enfants comprennent la tâche de placement de cible.

## **B. Protocole**

Les tâches d'énonciation de la chaîne numérique verbale et de dénombrement testent la maîtrise du système symbolique de numération, le placement de cible (évaluation globale) et la comparaison d'éléments discrets testent la représentation pré verbale de la quantité.

La passation est individuelle avec un seul examinateur, l'ordre des tâches étant le suivant :

- Placement d'une cible : évaluation globale
- Comparaison d'éléments discrets
- Dénombrement
- Énonciation de la chaîne numérique verbale

### **1. Groupe d'épreuves testant la ligne numérique mentale**

#### **➤ Placement d'une cible : évaluation globale**

Nous avons élaboré une démonstration concrète, avec des jouets.

« Tu sais ce qu'est une échelle ? C'est pour quoi faire ?

Regarde, ça c'est une petite échelle. Cette échelle fait 3, elle a 3 barreaux. Et regarde, on a des bonshommes : le bébé, le grand frère et le papa.

Le bébé, il est tout petit, alors il ne monte qu'un petit peu, il ne va que sur le 1 (on met le bébé sur le 1<sup>er</sup> barreau). Le grand frère, il est plus grand que le bébé, alors il arrive à monter plus haut, il va jusqu'au 2 (on met le frère sur le 2<sup>ème</sup> barreau). Et le papa, il est très grand, il est plus grand que le bébé et le frère, alors il monte tout en haut, sur le 3 (on met le papa sur le 3<sup>ème</sup> barreau). A toi ! (On laisse l'enfant manipuler).»

Nous proposons au sujet des traits de longueur différente, en demandant de placer une certaine valeur :

D'abord, il doit placer la valeur maximale :

« Tu vois, ce trait, en fait c'est une échelle sans barreaux, et toi, tu vas dessiner des barreaux. Cette échelle fait 5. Peux-tu placer où est le barreau 5 ? »

Si le sujet se trompe, nous le corrigeons en ré expliquant, si besoin à l'aide de la démonstration pour les enfants les plus jeunes.

Si le sujet réussit, nous confirmons son choix, et continuons avec les autres valeurs.

Pour chaque sujet, nous proposons un test et un re test (Test 1 et Test 2) ; les mêmes valeurs sont demandées dans un ordre différent, afin de constater d'éventuelles variations de performances.

Les valeurs à placer sont proposées dans cet ordre :

· Pour le Test 1

Sur l'échelle de 5 cm : 5 - 4 - 2

Sur l'échelle de 10 cm : 10 - 5 - 2 - 4 - 8

Sur l'échelle de 20 cm : 20 - 10 - 15 - 4 - 12 - 8 - 2 - 17 - 5

· Pour le Test 2

Sur l'échelle de 5 cm : 5 - 2 - 4

Sur l'échelle de 10 cm : 10 - 8 - 4 - 2 - 5

Sur l'échelle de 20 cm : 20 - 5 - 17 - 2 - 8 - 12 - 4 - 15 - 10

### ➤ **Comparaison d'éléments discrets**

Cette tâche consiste à déterminer, sans dénombrement, la collection de points la plus importante :

« Tu vois ces groupes de points ? Tu dois me montrer où tu penses qu'il y en a le plus. »

Si l'enfant s'obstine à compter, nous lui suggérons :

« Tu n'as pas besoin de compter. Tu dois juste montrer où tu penses qu'il y en a le plus. »

## **2. Groupe d'épreuves testant la chaîne numérique verbale**

### **➤ Dénombrement de points**

Cette tâche est proposée aux enfants afin d'observer les différentes stratégies employées. Les quantités à dénombrer correspondent aux nombres à placer sur les traits lors de l'évaluation globale.

Nous demandons aux sujets :

« Combien y a-t-il de points ? »

Nous laissons les enfants faire comme ils l'entendent pour dénombrer (utilisation du pointage manuel ou visuel, subvocalisations des noms de nombre,...)

### **➤ Enonciation de la chaîne numérique verbale**

Nous demandons aux enfants :

« Peux-tu me montrer comment tu sais compter ? Jusqu'à où sais-tu compter ? ».

## **II. Matériel**

Nous avons construit un livret de passation pour chaque sujet.

Chaque livret regroupe les supports nécessaires à la passation et à la notation de toutes les tâches. En première page, nous reportons les données administratives (prénom et âge en mois), la latéralité, le comportement et les stratégies de l'enfant au cours de la passation du protocole (annexe 1). En dernière page, des tableaux récapitulent les résultats de chaque sujet (annexe 2).

Le matériel de la démonstration est conçu par nos soins.

### **A. Placement d'une cible : évaluation globale**

#### **1. Pour la démonstration**

Nous utilisons trois personnages de taille différente : un bébé, un enfant et un papa. Nous fabriquons une échelle en bois pour chaque examinateur. Ces échelles comportent trois barreaux et un support symbolisant le sol.

## 2. Pour les sujets et les examinateurs

Sur des feuilles A 4, nous construisons à l'ordinateur des traits verticaux de différentes longueurs, avec un petit trait horizontal symbolisant le début de l'échelle. Il y a un trait pour chaque valeur à placer : quatre traits de 5 cm, cinq traits de 10 cm, neuf traits de 20 cm (annexe 3).

## B. Comparaison d'éléments discrets

### 1. Pour les sujets

Nous proposons 18 feuilles de format A 4, sur chacune se trouvent deux ensembles de points de numérosité différente (annexe 4).

### 2. Pour les examinateurs

Nous reportons les résultats en dernière page du livret de passation, en entourant dans le tableau (+) si le groupe désigné est le bon et (-) si la désignation est erronée.

	Groupe A désigné	Groupe B désigné	Point
Planche 1	+	-	
Planche 2	+	-	
Planche 3	-	+	
...			
	Total		/ 18

## C. Dénombrement de points

### 1. Pour les sujets

Dans le livret de passation, nous utilisons 8 feuilles de format A 4, où sont aléatoirement réparties des gommettes de couleur (annexe 5). Les valeurs choisies sont les mêmes que celles utilisées lors de la tâche d'évaluation globale.

## 2. Pour les examinateurs

Nous notons en dernière page du livret de passation le résultat du sujet et son comportement.

	Réponse attendue	Réponse de l'enfant	Stratégie
Planche 1	2		
Planche 2	4		
Planche 3	5		
...	...		

Score

/ 9

## D Enonciation de la chaîne numérique verbale

### 1 Pour les sujets

Pour cette tâche, aucun matériel particulier n'est nécessaire.

### 2 Pour les examinateurs

Nous avons besoin de la page du livret de passation pour noter le résultat du sujet et son comportement.

## III. Populations

Notre population principale est composée d'enfants de maternelle âgés de 4 et 5 ans. De plus, nous proposons d'étudier le cas de Mathis, un enfant présentant un syndrome de Williams et Beuren et de Lucie, une enfant de 4 ans aux performances atypiques.

### A. Population principale

Ce groupe est composé de 60 enfants issus de différentes classes maternelles d'une école publique située dans le 8<sup>ème</sup> arrondissement de Lyon. Ce groupe est constitué de 30 enfants de 4 ans et de 30 enfants de 5 ans.

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Enfants droitiers graphiques et manuels
- Enfant ne présentant pas de pathologie diagnostiquée.

- Enfants n'étant pas suivis en orthophonie ou en psychomotricité.
- Enfants n'ayant pas participé au pré – test.

### **1. Enfants de 4 ans**

30 enfants. Moyenne d'âge : 55,4 mois (écart-type 2,07).

Répartition des sexes : 14 garçons, 16 filles.

### **2. Enfants de 5 ans**

30 enfants. Moyenne d'âge : 65,2 mois (écart-type 3,3)

Répartition des sexes : 15 garçons, 15 filles.

## **B. Etudes de cas**

### **1. Mathis**

Mathis est né le 17.03.2001, il est porteur du syndrome de Williams et Beuren.

Les personnes atteintes du syndrome de Williams et Beuren (SWB) présentent une préservation de certaines capacités cognitives, comme les capacités langagières, alors que d'autres capacités cognitives, comme le traitement visuo-spatial et la résolution de problèmes sont altérés (Rossen & al., 1996). Malheureusement, la plupart des études réalisées avec des enfants atteints de SWB, se basent sur des modèles anatomiques de cerveau mature.

Les processus cognitifs numériques sont sous-tendus par deux systèmes fonctionnellement et anatomiquement dissociés, un système verbal symbolique et un autre non-verbal, analogique (Dehaene, 1997). Le système cognitif dévoué à la représentation analogique de la quantité prendrait également en charge les traitements spatiaux. Des dyscalculies développementales sont donc très fréquentes dans cette population. Paterson (2001) a montré que la trajectoire développementale des enfants atteints du SWB est particulière : à 30 mois, ils ne manifestent pas de troubles de la discrimination des quantités, mais à l'âge adulte aucun effet de distance n'apparaît lors de la comparaison de quantités. Or l'effet de distance signe la mobilisation de la ligne numérique mentale. Sachant que les sujets atteints d'un syndrome de Williams et Beuren présentent une altération des capacités non-verbales, en opposition avec des capacités langagières efficaces, on peut postuler que ces sujets vont présenter une dissociation nette entre de bonnes performances aux tâches verbales impliquées dans les processus numériques, et des difficultés dans les épreuves numériques

analogiques. Ainsi, nous nous attendions à ce que l'épreuve de comptage soit réussie, que l'épreuve de dénombrement soit échouée du fait de la dyspraxie, et que les épreuves de comparaison des quantités et d'évaluation globale soient échouées. Il est évident qu'un seul enfant n'est pas représentatif de cette population, mais cette observation nous semble fort à propos au vu des caractéristiques présentées par les enfants atteints de ce syndrome.

Au moment de la passation, Mathis est âgé de 6 ans et est maintenu en grande section de maternelle. Nous le rencontrons au CAMSP de Décines-Charpieu, lors d'une séance avec son orthophoniste. Il présente un retard de parole et un retard de langage, en particulier sur le versant de la compréhension. La présence d'une dyspraxie visuo-spatiale et constructive nécessite une adaptation du protocole : lors de l'épreuve d'évaluation globale, nous lui donnons la consigne suivante « Je vais monter sur la ligne avec mon crayon, et quand tu penses que je suis au bon endroit, tu dis STOP ! ».

## **2. Lucie**

Lucie est née le 14.03.2002, elle est âgée de 4 ans 5 mois au moment de la passation et fait partie de notre population d'enfants de maternelle. C'est une enfant droitrière.

Elle se démarque du reste de la population en ne comptant que jusqu'à 3. Il s'agit de la plus faible performance observée : c'est la raison pour laquelle nous nous proposons d'analyser plus finement ses résultats.

## **PRESENTATION DES RESULTATS**

## I. Présentation de l'analyse du comptage

Notre problématique est la suivante : nous souhaitons savoir si le niveau de comptage détermine la précision aux épreuves d'évaluation globale. Notre hypothèse est que le niveau de comptage détermine, au moins partiellement, la précision à l'épreuve de placement de cible.

### A. Résultats de l'ensemble de notre population

Il est à noter que par souci de clarté, nous exprimons les tailles des lignes-supports en cm et les distances à placer en mm. En effet, lors de la passation, la taille de la ligne-support était donnée aux enfants en cm (« Ca, c'est une échelle qui fait 5 »). Par contre, l'unité utilisée pour relever **les distances à la réponse exacte (DRE)** est le mm, plus précis.

Nous entrons dans une ANOVA les variables comptage et distance à la réponse exacte (DRE) des 60 enfants testés (voir annexes 7 et 8). Nous avons calculé pour chaque enfant la moyenne des emfans d'erreurs (ou DRE) pour chaque taille de support 5, 10, et 20 cm. Chaque moyenne a été calculée à partir des valeurs absolues des DRE, car c'est la distance au placement idéal et non la sur ou la sous estimation qui nous intéresse. Si nous avions gardé les valeurs relatives, les moyennes auraient été différentes. Par exemple, sur la ligne support de 5 cm, un enfant qui pour la valeur 20 mm produit une DRE de -8 mm, puis sur la valeur 40 mm une DRE de +8 mm, aurait une moyenne de DRE à 0 mm en valeur relative et 8 mm en valeur absolue. Or, la moyenne de DRE de 0 mm signifierait une précision extrême pour ces valeurs. La moyenne de DRE à 8 mm est donc une mesure plus objective de la précision de l'évaluation de cet enfant. Puis nous avons calculé des DRE moyennes sur l'ensemble de la population pour toutes les valeurs de chacune des lignes supports.

Ensuite, pour chaque taille de ligne support, nous procédons à une analyse de régression afin de préciser l'influence du comptage sur les DRE moyennes, qui révèlent la précision à l'épreuve de placement de cible.

## **1. Corrélation entre l'âge et le niveau de comptage**

La première analyse porte sur le lien entre l'âge et la performance en comptage. On note une forte corrélation entre l'âge des enfants de notre population et leur niveau en comptage (voir tableau 1). Ainsi, plus les enfants sont grands, plus ils comptent loin. Les capacités de comptage augmentent rapidement entre 4 et 5 ans. Ces constatations rejoignent les données de la littérature. Ceci nous permet d'avancer que notre population correspond à un échantillon représentatif de la population d'enfants de cet âge.

## **2. Evaluation du placement des distances 20 et 40 mm sur la ligne-support de 5 cm**

Nous analysons les résultats aux placements de 20 mm et 40 mm sur la ligne support de 5 cm. Les corrélations entre les variables âge et comptage sont regroupées dans le tableau 2.

L'analyse statistique montre que les variables âge et comptage ne permettent pas d'observer de différence significative pour les DRE à 20 et 40 mm ( $t(59) = -1.80$ ) ni de prédire les performances pour le placement de ces valeurs.

## **3. Evaluation du placement des distances 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne-support de 10 cm**

Nous analysons les performances pour le placement des valeurs 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne support de 10 cm.

D'après l'analyse ANOVA,  $F(1.59 = 7.01, p < .02)$ , ce qui indique des différences significatives entre les DRE pour ces valeurs. L'erreur augmente globalement avec la valeur à placer, ce qui correspond à l'effet de distance, illustré par la figure 1. Ici, il s'agit de l'effet de distance décrit dans la littérature.

### **Analyse de régression**

Comme le montre le tableau 4, pour les valeurs 20, 40 et 50 mm, aucune des variables âge et comptage ne contribue à déterminer la variation des évaluations. Toutefois pour la valeur 80 mm, la variable comptage intervient seule ( $p < .05$ ).

Ainsi, la précision de l'évaluation pour la ligne support de 10 cm ne varie en fonction du comptage que pour l'empan de 80 mm.

#### **4. Evaluation du placement des distances 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne-support de 20 cm**

En analysant les DRE produites lors du placement des valeurs 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm, nous observons que l'erreur augmente quand les valeurs passent de 20 à 100 mm, puis diminue pour les valeurs 120 et 150 mm, qui approchent l'extrémité de la ligne support. L'erreur augmente de nouveau pour la valeur 170 mm. Nous constatons donc l'existence d'un effet de distance significatif ( $F(1, 413) = 2.89, p < .05$ ). Nous entendons par effet de distance, le fait que la DRE varie en fonction de la distance à placer. Cependant, l'erreur ne croît pas en fonction de la distance. En effet, l'effet de distance est modulé par un effet des bornes extrêmes, comme le montre la figure 2.

#### **Analyses de régression**

D'après les résultats résumés dans le tableau 5, les variables âge et comptage ne prédisent ni l'une ni l'autre la précision aux placements de 20, 40, 50, 80 et 100 mm sur la ligne support de 20 cm. Par contre, le comptage prédit significativement la réussite au placement de la distance 120 mm ( $p < .05$ ). Pour les valeurs 150 mm et 170 mm, le comptage redevient non significatif ( $p > .05$ ).

#### **5. Résumé des résultats et approfondissement**

Ces analyses nous ont donc permis d'établir que :

- *Pour la ligne support de 5 cm, ni l'âge ni le comptage ne prédisent la précision du placement de cible, ni pour 20 ni pour 40 mm.*

- *Pour la ligne support de 10 cm, le comptage ne prédit que partiellement la précision du placement de cible.*

*Le comptage est la seule variable à intervenir significativement pour le placement de la valeur 80 mm.*

*Pour le placement des valeurs 20, 40 et 50 mm, ni l'âge ni le comptage n'influent significativement.*

*Un effet de distance apparaît : plus la valeur à placer augmente, plus les DRE sont importantes.*

**- Pour la ligne support de 20 cm, le comptage prédit la précision du placement de cible ( $p < .05$ ).**

*Le comptage prédit la précision au placement de la valeur 120. Pour le placement des valeurs 20, 40, 50, 80 et 100 mm, ni l'âge ni le comptage n'influent significativement. De même, pour les valeurs 150 mm et 170 mm, l'effet du comptage redevient non significatif.*

*Nous observons également un effet de distance, mais qui est modulé par un effet des bornes extrêmes.*

Pour compléter ces analyses et déterminer si le comptage est la seule variable qui prédit la précision sur les différentes lignes supports, nous avons procédé à d'autres analyses de régression, en ajoutant la variable « réussite au placement sur le trait précédent ». Nous souhaitons savoir si la réussite sur une ligne-support suffit ou si elle contribue à la réussite sur une ligne-support de taille supérieure.

**- Pour la ligne support de 10 cm**

Nous avons ajouté comme variable la performance au placement de cible sur la ligne support de 5 cm dans l'analyse de régression. L'ajout de cette variable n'apporte pas de contribution supplémentaire à la performance sur 10 cm.

**- Pour la ligne support de 20 cm,**

Nous avons ajouté comme variable la performance au placement de cible sur la ligne support de 5 cm et la performance sur 10 cm. Les résultats de l'analyse de régression montrent que seule la précision sur 10 cm est un bon prédicteur de celle sur 20 cm ( $p < .05$ ). L'influence de la performance sur la ligne support de 10 cm prédit mieux la performance sur 20 cm que le comptage ( $p < .05$ ), bien que le comptage soit également significatif ( $p < .05$ ), (voir tableau 6).

L'analyse de régression montre que la réussite au placement sur 10 cm a même un poids plus important que le comptage dans la précision sur la ligne support de 20 cm lorsqu'on compare uniquement ces deux variables ( $p < .0001$  contre  $p < .02$ ), ainsi que le résume le tableau 7.

### **B. Analyse des enfants particulièrement faibles ou forts en comptage**

Afin d'analyser plus finement les liens entre les performances de notre population à l'épreuve d'évaluation globale et à l'épreuve de comptage, nous avons constitué deux groupes, en fonction de leur performance à l'énonciation de la chaîne numérique verbale. Nous avons regroupé d'une part, les enfants comptant jusqu'à 10 et moins, ou groupe des enfants « faibles » en comptage, et d'autre part, les enfants comptant jusqu'à 30 et plus, ou groupe des enfants « forts » en comptage. Nous verrons dans la discussion que la constitution des groupes et les valeurs à placer étudiée biaisent notre analyse.

Le premier groupe comporte 7 enfants, âgés en moyenne de 65 mois, (écart- type de 5.44) et comptant en moyenne jusqu'à 7.5 (écart – type de 2.99).

Le deuxième groupe contient 14 enfants, âgés en moyenne de 56 mois, (écart- type de 2.57) et comptant en moyenne jusqu'à 52 (écart – type de 17.84).

Nous comparons systématiquement les performances des groupes « faibles » et « forts ». Nous avons mesuré la DRE pour chaque placement de cible, et calculé les moyennes de ces DRE pour chaque taille de ligne support.

Ces groupes diffèrent sur le niveau de comptage ( $t(19) = -6.42$ ,  $p < .0001$ ) puisque c'est ainsi que les groupes ont été constitués. Ils diffèrent aussi quant à l'âge ( $t(19) = -4.14$ ,  $p < .0005$ ); ce qui est gênant puisque nous ne savons pas a priori si c'est l'âge ou le niveau de comptage qui influe sur les résultats (voir tableau 8).

Les deux groupes diffèrent quant à l'amplitude des erreurs d'évaluation (DRE) sur 5 cm ( $t(19) = 2.83$ ,  $p < .01$ ), sur 10 cm ( $t(33) = 2.70$ ,  $p < .01$ ) et sur 20 cm ( $t(33) = 4.62$ ,  $p < .0002$ ). Ainsi, les « forts » en comptage sont toujours plus précis que les « faibles » en comptage, ce qui confirme notre hypothèse.

Pour déterminer si la plus grande réussite des enfants du groupe « forts » au placement de cible est dû à l'âge ou au niveau de comptage, nous avons utilisé une analyse MANCOVA (Multivariate Analysis of Covariance) qui permet à la fois d'étudier l'effet du niveau de comptage et de partialiser (c'est à dire « enlever statistiquement ») l'effet de l'âge. Ainsi, les effets respectifs du comptage et l'âge sont séparés. Les résultats du tableau 9 montrent que, même lorsqu'on partialise l'effet de l'âge, il reste un effet du comptage ( F (3, 16) significatif à  $p < .05$  ). L'analyse par empan de taille des lignes supports fait apparaître que l'effet de niveau de comptage n'est significatif ni avec 5 cm ni avec 10 cm mais qu'il l'est avec 20 cm ( $p < .005$ ).

Notre hypothèse est donc partiellement vérifiée : la maîtrise du comptage est un prédicteur des performances en évaluation globale sur la ligne support de 20 cm. Cette influence n'est pas liée à l'âge des enfants.

## **II. Analyses sur les caractéristiques de la ligne numérique mentale**

### **A. Effets de distance et de taille des lignes supports**

Afin de préciser notre étude de la ligne numérique mentale dans notre population d'enfants d'école maternelle, nous avons étudié les effets de distance et de taille des lignes supports. Pour cela, nous avons mesuré la moyenne des DRE pour chaque placement, sur chaque ligne support.

#### **1. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm**

##### **➤ Effet de taille de lignes supports**

L'erreur de placement croît significativement avec l'augmentation de la taille de la ligne support ( $p < .05$ ). Plus la ligne support est grande, plus les DRE, pour le placement des mêmes valeurs, sont importantes, comme le résume le tableau 10.

En revanche, on ne note ni effet de distance ni interaction entre l'effet de taille des lignes support et l'effet de distance (voir figure 3).

## **2. Analyse du placement de 20, 40, 50 et 80 mm sur les lignes supports de 10 et 20 cm**

### **➤ Effet de taille de lignes supports**

Là encore, on relève un effet de la taille de la ligne support : la DRE pour le placement des valeurs concernées est plus importante sur la ligne support de 20 cm que sur celle de 10.

### **➤ Effet de distance**

On observe un effet de distance significatif ( $F(3, 177) = 6, p < .0001$ ) : l'erreur augmente avec l'augmentation de la valeur à placer, comme le montre la figure 4.

L'interaction entre les effets de distance et de taille des lignes supports est significative ( $F(1, 59) = 13.99, p < .0001$ ), comme l'illustre la figure 5.

## **3. Analyse du placement de toutes les valeurs à placer sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm**

La comparaison des DRE moyennes pour chaque valeur, sur les trois lignes supports, fait apparaître un effet de taille des lignes supports (voir figure 6). Ce résultat n'est pas étonnant ; en effet, plus la taille de la ligne-support est grande, plus le nombre de distances à placer est important, ce qui augmente le risque de faire des erreurs.

### **B. Approfondissements sur les effets de distance et de taille des lignes supports : sur estimation et sous estimation**

Nous avons observé, grâce aux analyses précédentes, l'évolution des erreurs en fonction de la valeur à placer et de la taille du support. Une étude plus approfondie sur le sens des erreurs (sous évaluation ou sur évaluation) nécessite un traitement à partir de valeurs relatives. Pour chaque production, nous avons donc mesuré la distance à la réponse exacte (DRE), c'est à dire la distance entre la valeur cible et la valeur réellement placée par l'enfant en millimètres. Puis nous avons ajouté un sens, positif ou négatif, à cette valeur, selon que le sujet sous-estimait ou surestimait la valeur cible.

L'empan des erreurs a été entré dans une ANOVA avec mesures répétées, visant à tester la présence d'un effet de distance décrit dans la littérature (l'empan d'erreur ou distance à la réponse exacte DRE augmente avec la distance à placer). De plus, nous avons étudié la présence d'un effet de la taille des lignes supports en comparant les placements de valeurs sur les traits de 5, 10 et 20 cm.

Dans la mesure où nous avons montré que la maîtrise du comptage augmente rapidement avec l'âge dans notre population, nous pouvons nous permettre de réaliser l'étude de la ligne numérique mentale en séparant les enfants de 4 ans et ceux de 5 ans. En effet, nous souhaitons voir si des différences se dégagent quant aux caractéristiques de la ligne numérique mentale, en fonction du niveau de comptage des enfants. Il aurait cependant été possible de réaliser cette analyse à partir des résultats des enfants faibles et forts en comptage, mais la séparation par âge permet d'avoir un nombre de sujets plus important.

### **1. Enfants de 4 ans**

La distance à la réponse exacte (DRE) a été utilisée comme variable dépendante, et entrée dans une série d'ANOVAs visant à tester l'effet des deux variables indépendantes : la valeur à placer et la taille de la ligne support sur lequel cette distance devait être portée.

#### **a. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm**

Les enfants devaient placer 20 et 40 mm sur une ligne support de 5 cm.

##### **➤ Effet de distance**

Nous appelons effet de distance l'évolution de la distance à la réponse exacte (DRE) en fonction de la valeur cible. L'effet de distance est effectivement significatif,  $F(1, 29) = 10,93$ ,  $p < .005$ . La sous-estimation est faible avec 20 mm (-0,96 mm) alors qu'elle est environ dix fois plus importante avec 40 mm (-9,86 mm).

### **b. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm**

La question ici abordée est celle de l'effet de la taille de la ligne support sur l'exactitude du placement, pour deux distances : 20 et 40 mm. La figure 7 regroupe les résultats obtenus. Les empan d'erreurs ont été entrés dans une ANOVA à 2 (Distance : 20, 40 mm) x 3 (Taille de ligne : 5, 10 et 20 cm) facteurs.

#### ➤ **Effet de distance**

La distance 20 mm donne lieu à une erreur plus importante que la distance 40 mm. Cependant, l'effet de distance n'est marginalement significatif,  $F(1, 29) = 3,40$ ,  $p = .075$ .

#### ➤ **Effet de taille de la ligne support**

L'effet de taille est également significatif,  $F(2, 58) = 30,12$ ,  $p < .0001$  : l'empan d'erreurs augmente, et passe d'une sous-estimation à une surestimation lorsque la taille des lignes support augmente : -5,41 mm avec 5 cm, 7,26 mm avec 10 cm et 35,58 mm avec 20 cm.

### **c. Analyse du placement de 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm**

#### ➤ **Effet de distance**

Les empan d'erreurs ont été entrés dans une ANOVA à un seul facteur (Distances à 8 modalités).

L'effet de distance est significatif,  $F(7, 203) = 16,9$ ,  $p < .0001$  : la distance à la réponse idéale augmente quand les valeurs à placer augmentent.

Comme l'illustre la figure 8, l'empan d'erreurs passe graduellement d'une surestimation avec les petites distances (20, 40, 50, 80, 100 et 120 mm) à une sous-estimation croissant avec la distance (-10 mm avec 150 mm et -37,4 mm avec 170 mm).

## **2. Enfants de 5 ans**

Les données ont été recueillies et analysées selon les mêmes modalités que pour les enfants de 4 ans.

### **a. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm**

#### ➤ **Effet de distance**

L'effet de distance à placer n'est pas significatif,  $F(1, 29) < 1$ . L'erreur est approximativement de même ampleur pour les valeurs 20 mm (-7.26 mm) que 40 mm (-6.93 mm).

### **b. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm**

#### ➤ **Effet de taille des lignes supports**

L'effet de la taille de la ligne support est significatif,  $F(2, 58) = 7.15$ ,  $p < .002$  : l'erreur correspondant à une sous estimation avec 5 cm (-7,1 mm) se transforme en surestimation dont l'empan augmente significativement entre 10 (1,33 mm) et 20 cm (11,31 mm).

#### ➤ **Effet de distance**

L'effet de distance est également significatif,  $F(2, 29) = 6,04$ ,  $p < .05$  et il interagit avec la taille de la ligne support,  $F(2, 58) = 3,33$ ,  $p < .05$ .

Lorsque le segment porteur est de 5 cm, l'erreur ne varie pas significativement (Tukey HSD) en fonction de la distance (voir figure 10).

En revanche, avec le segment de 10 cm, l'erreur est plus importante mais reste non significative (Tukey HSD).

Avec celui de 20 cm, elle s'accroît encore et devient significative ( $p < .02$ , Tukey HSD).

### **c. Analyse du placement de 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm**

#### **➤ Effet de distance**

L'effet de la distance est significatif,  $F(7, 203) = 6.63, p < .0001$ . La figure 9 illustre les variations des erreurs en fonction des distances à placer.

Les comparaisons post-hoc (Tukey HSD) montrent que les différences entre, d'une part, les valeurs 20, 40 et 50 mm, et d'autre part, 150 et 170 mm, ne sont pas significatives. Parallèlement, les différences entre les valeurs 80 et 120 mm ne sont pas non plus significatives.

Il apparaît donc que les valeurs sont pour la plupart (sauf 170 mm) surestimées, et que cette surestimation affecte particulièrement les valeurs 80 et 120 mm, qui se différencient significativement des autres.

## **B. Présentation des études de cas**

### **1. Etude de cas : Mathis, né le 17.03.01**

Mathis est atteint d'un syndrome Williams et Beuren. C'est un enfant attachant qui a plaisir à communiquer. Nous lui avons proposé l'intégralité des épreuves, mais nous n'avons pu toutes les terminer.

#### **➤ Démonstration**

Il est important de noter que la démonstration s'est faite avec trois cubes empilés, pour représenter les trois différents niveaux (1, 2, 3). La démonstration est réussie au second essai : Mathis peut donner le rang du cube sur lequel une figurine est posée.

#### **➤ Estimation globale**

Nous n'avons pu proposer qu'un nombre très limité de planches.

En effet, malgré la bonne volonté de Mathis, il lui a été difficile de maintenir son attention très longtemps sur le même exercice.

Ligne support de 5 cm :

- la valeur 40 mm est sous-estimée (placée à 21 mm)
- la valeur 20 mm est surestimée d'abord, (placée à 40 mm), puis placée à 18 mm sur auto-correction spontanée.

Ligne support de 10 cm :

- 20 mm est placé à 22 mm, Mathis gradue de 1 en 1, avec le doigt. L'unité choisie se rapproche du centimètre.

Mathis a souhaité réaliser tout seul l'activité, sans que l'on suive la ligne avec le crayon pour lui. La réalisation de l'épreuve sous sa modalité « normale » s'est révélée impossible, à cause de la difficulté de Mathis à tracer un trait fin à l'endroit choisi. De plus, il a imité l'examineur en balayant la ligne de haut en bas avec le crayon.

- la valeur 50 mm est placée en haut du trait de 10 cm, donc au niveau de la valeur 10.

L'échec à cette épreuve peut être du au trouble praxique. Cependant, une mauvaise compréhension de la consigne (même si les premières réponses sont appropriées) et les difficultés attentionnelles de Mathis sont susceptibles d'influencer les résultats à cette épreuve. De plus, il semble évident que la représentation sous forme de trait a été difficile à appréhender pour lui, car c'est un support inhabituel.

➤ **Comptage**

Les productions de Mathis à cette épreuve sont assez variables. Il compte une première fois jusqu'à 3, et avec nos encouragements, poursuit jusqu'à 7. Nous proposons un second essai, Mathis compte alors jusqu'à 6 puis passe directement à 10. Nous admettons donc que Mathis maîtrise la chaîne verbale jusqu'à 6.

### ➤ **Comparaison**

Sur les 6 premiers items, Mathis fait 3 erreurs.

La notion de « plus » (« Où est-ce qu'il y en a le plus ? ») ne semble pas comprise.

Nous utilisons alors le terme beaucoup, et concrétisons la consigne :

« Si les points, ce sont des bonbons, tu peux me montrer où tu vas manger beaucoup de bonbons ? »

On ne remarque aucune tentative de comptage.

Au début de l'épreuve, il prend un peu de temps pour répondre, puis, au fur et à mesure ses désignations se font de plus en plus rapides. Nous lui rappelons souvent de bien regarder « les deux tas » avant de choisir.

Au final, Mathis obtient un score de 11/18.

### ➤ **Dénombrement**

En raison de sa dyspraxie, Mathis ne peut pointer précisément les objets dénombrés. Les pointages sont trop nombreux et l'énonciation trop rapide.

Nous décidons donc de pointer pour lui. Cette aide lui permet de ralentir un peu le balayage oculaire, ainsi que l'énonciation de la chaîne numérique. Cependant, on note que Mathis ne parvient pas à synchroniser le pointage (visuel pour lui) d'un objet avec l'énonciation d'un nombre.

## **2 Etude de cas : Lucie, née le 14.03.2002**

### ➤ **Démonstration**

Nous avons présenté la démonstration avec le matériel prévu : l'échelle et les personnages. Elle a apparemment compris la démonstration.

### ➤ **Estimation globale**

Moyenne des DRE (en mm) sur la ligne support de 5 cm	Moyenne des DRE (en mm) sur la ligne support de 10 cm	Moyenne des DRE (en mm) sur la ligne support de 20 cm
13,5	23,625	59,625

Elle fait donc partie des enfants ayant la plus grande marge d'erreurs pour cette épreuve.

Lors de la présentation des différentes lignes supports, elle a toujours échoué le placement du premier item (montrer l'extrémité du segment) alors que la majorité des enfants réussissait. Ainsi, pour la ligne support de 5 cm, elle n'a pas placé la valeur 50 mm, et pour les lignes supports 10 et 20 cm, elle approchait la valeur de l'extrémité de la ligne. L'examineur la corrigeait donc à chaque fois pour la suite de l'épreuve.

Pour le placement des valeurs, elle ne graduait pas ni n'adoptait de stratégie de comptage à rebours ou de comptage en partant de l'extrémité du segment.

#### ➤ **Comptage**

Lucie a compté jusqu'à 12 en omettant l'item 4 à chaque fois. Nous considérons donc qu'elle ne compte que jusqu'à 3.

#### ➤ **Comparaison**

Lucie obtient un score de 13/18, ce qui est un des scores les plus faibles de la population.

#### ➤ **Dénombrement**

Lucie a utilisé une procédure de dénombrement correcte pour 3 items (quantités 2, 5 et 10 soit planches 1, 3 et 5, voir annexe 6 a).

## **DISCUSSION**

## **I. Discussion sur l'analyse du comptage**

### **A. Discussion des résultats de l'ensemble de notre population**

Notre hypothèse est partiellement vérifiée : la maîtrise du comptage est liée à la précision à l'épreuve d'évaluation globale, mais ce résultat doit être nuancé.

- **Pour la ligne support de 5 cm**, ni l'âge ni le comptage ne prédisent la précision du placement de cible, ni pour la valeur 20 mm ni pour la valeur 40 mm.

- **Pour la ligne support de 10 cm**, le comptage ne prédit que partiellement la précision du placement de cible.

Pour le placement des valeurs 20, 40 et 50 mm, ni l'âge ni le comptage n'influe significativement.

Le comptage est la seule variable à intervenir significativement pour le placement de la valeur 80 mm.

L'effet de distance est significatif : plus la valeur à placer augmente, plus les DRE sont importantes.

- **Pour la ligne support de 20 cm**, le comptage prédit la précision du placement de cible.

Le comptage prédit la précision au placement de la valeur 120 mm.

Pour le placement des valeurs 20, 40, 50, 80 et 100 mm, ni l'âge ni le comptage n'influe significativement. De même, pour les valeurs 150 mm et 170 mm, l'effet du comptage redevient non significatif.

Ces constats rejoignent ceux des expériences rapportées dans la littérature. Newman et Berger (1984), ont vérifié l'hypothèse que plus le niveau d'utilisation du comptage est élevé, plus la précision de l'estimation est grande, et ce sans tenir compte de l'âge de l'enfant.

L'étude de Lipton & Spelke (2005), s'est également intéressée aux rapports entretenus entre le comptage et le traitement des quantités chez des enfants de 5 et 6 ans. A l'issue d'une tâche de comptage, les enfants ont été répartis en deux groupes : les compteurs experts et les compteurs non-experts. Le niveau de comptage de chaque enfant et sa capacité à compléter une suite numérique amorcée par le testeur, en passant correctement à la dizaine

supérieure, sont les critères de répartition des compteurs experts et non experts. La tâche d'évaluation globale était effectuée à partir de quantités discrètes : chaque enfant (ainsi qu'une population adulte) devait dire à quelle quantité d'éléments correspondait un ensemble de points (12 planches avec 20 à 120 éléments représentés et 3 avec de petites quantités inférieures à 10 éléments). Une population adulte de référence a passé les mêmes épreuves. Les adultes et les enfants compteurs experts ont été capables d'estimer les grands nombres, alors que les enfants de 5 ans compteurs non-experts n'en n'ont pas été capables. Après cette tâche d'estimation, une tâche de compréhension de nom de nombres a été proposée. L'estimation des adultes et des enfants compteurs experts augmente proportionnellement au nombre d'éléments proposés. Par contre, chez les enfants de 5 ans compteurs non-experts cette constatation n'est valable que pour les ensembles de 20 à 60 éléments, au delà, il n'y a plus de rapport linéaire entre l'estimation et la quantité réelle. Le niveau de comptage est donc corrélé à la performance en évaluation globale de quantités pour des quantités discrètes. Les auteurs suggèrent que les enfants apprennent rapidement à relier la chaîne numérique verbale à une représentation non symbolique de la quantité, ce qui est confirmé lors de la tâche de compréhension de noms de nombres. De plus, les enfants mettent en lien l'ordre des noms de nombre dans la suite numérique récemment apprise avec la variation de la quantité. Ces résultats sont contradictoires avec l'idée que le rapport ordination / cardination est difficile à établir pour les enfants de cet âge. Contrairement à la nôtre, la tâche d'évaluation globale a été proposée à partir de quantités discrètes. Néanmoins, notre étude aboutit à la même corrélation entre le niveau de comptage et la performance en estimation globale bien que nos résultats soient plus nuancés.

### **1. Corrélacion âge / comptage**

La corrélation entre l'âge et le niveau de comptage est forte dans notre population. Plus les enfants sont grands plus la chaîne numérique est maîtrisée.

Nous observons d'importantes différences inter-individuelles en comptage, cela malgré la faible différence d'âge entre les enfants (23 mois d'écart entre le plus jeune et le plus âgé). L'évolution de la maîtrise de la chaîne numérique se fait donc rapidement. Rappelons que la mise en place de la chaîne numérique verbale commence dès 2 ans, mais ne se termine que vers 6 ans, la socialisation et la scolarisation jouant un rôle important dans ce développement.

## **2. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 5 cm**

Le comptage ne prédit la précision de l'évaluation globale sur la ligne support de 5 cm pour aucune des valeurs concernées. Cela s'explique sans doute par le fait que les enfants maîtrisent tous suffisamment la chaîne numérique verbale pour réussir cette épreuve, et donc qu'on ne puisse établir de différences significatives entre les performances des enfants. Sans doute, la maîtrise de la chaîne numérique verbale jusqu'à 5 permet à ces enfants de réussir sur ce support. De même, les résultats obtenus par Lipton & Spelke (2005) montrent qu'au-delà de la valeur maximale comptée, les performances d'estimation ne suivent plus la tendance linéaire observée pour les valeurs en deçà.

## **3. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 10 cm**

Le comptage ne prédit la réussite aux placements des valeurs sur la ligne support de 10 cm que pour la valeur 80 mm, sans que nous puissions expliquer pourquoi. D'autre part, la DRE moyenne au placement de 50 mm sur cette ligne est plus faible que la DRE des autres valeurs à placer. On peut penser que la présentation préalable du trait de 5 cm sur lequel les enfants ont travaillé les a aidés à situer cette valeur. De plus, il est possible que cette baisse de DRE dénote l'émergence du concept de milieu. Lors de la passation, nous avons noté que les enfants plaçaient leur cible en graduant de un en un, de manière approximative. Mais, pour cette valeur, de nombreux enfants rectifiaient ce placement obtenu par graduation, comme si un autre facteur influençait leur choix.

## **4. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 20 cm**

Sur la ligne support de 20 cm, l'effet du comptage est significatif seulement pour le placement de la valeur 120 mm, alors que, curieusement, il n'intervient pas pour le placement de 150 mm et 170 mm. On suppose que, jusqu'à 10, les différences de performance en comptage entre les enfants de la population sont trop faibles pour dégager des écarts de précision lors du placement. L'hypothèse d'un manque de maîtrise de la chaîne numérique verbale aux alentours de 17 pour l'ensemble de notre population pourrait expliquer la non significativité du comptage pour le placement de la valeur 170 mm. Cette explication se

trouve cependant confrontée au fait que 14 enfants de notre population (soit le quart) comptent jusqu'à 33 au moins, et la moitié compte jusqu'à 20.

D'autre part, les valeurs 170 mm se distinguent des autres valeurs lorsqu'on compare les DRE. En effet, les DRE croissent avec l'augmentation des valeurs à placer jusqu'à 120 mm (effet de distance) puis diminuent à partir de 150 mm. On constate donc un effet des bornes : les valeurs proches des extrémités sont placées avec plus de précision que celles qui en sont éloignées. Pendant les passations, nous avons vu que les enfants adoptaient des stratégies différentes en fonction de la position de la cible à placer. Pour les grandes valeurs comme 150 et 170 mm, beaucoup d'enfants graduaient en partant du sommet du segment porteur. Cela permet de réduire le nombre de graduations nécessaires, et donc de limiter des erreurs, dues en partie à l'imprécision de l'unité de graduation. Les enfants, en cours d'acquisition de la chaîne numérique verbale, seraient déjà à même de savoir qu'entre 17 et 20 il y a moins de graduations qu'entre 0 et 17. Ils décideraient donc de graduer en partant du haut afin de réduire leur marge d'erreurs, ou simplement pour alléger le coût de la tâche, ce qui leur permet tout de même de faire moins d'erreurs. Les enfants pourraient donc avoir une certaine conscience de leurs erreurs, et tenteraient d'y remédier.

Newman & Berger (1984) ont également observé cet effet des bornes extrêmes. Lors de leur expérience sur les liens entre performance en comptage et précision en évaluation globale, chez des enfants entre 6 et 9 ans, ils ont mis en évidence que les stratégies d'utilisation du comptage (compter à rebours, compter à partir d'une certaine valeur, compter à rebours à partir d'une certaine valeur) prédisaient plus la précision à l'épreuve d'estimation globale des enfants plus âgés que le niveau de comptage seul. D'une part, les enfants de cette classe d'âge seraient déjà capables d'utiliser la chaîne numérique verbale pour des tâches nouvelles pour lesquelles on ne leur demande pas de le faire. D'autre part, ils commenceraient à mettre en place des stratégies d'utilisation du comptage.

Nos observations prolongent celles de Newman et Berger : nous notons que des enfants plus jeunes sont à même de développer des stratégies d'utilisation du comptage.

## **B. Discussion des résultats des enfants particulièrement faibles ou forts en comptage**

Les différences de performances en comptage de l'ensemble de la population n'étaient pas toujours suffisantes pour nous permettre d'observer des différences significatives lors du placement de valeurs. C'est pourquoi, nous avons formé deux groupes d'enfants dont les niveaux de comptage sont très contrastés. Le groupe « faible » en comptage comprend les enfants les plus faibles en comptage de notre population, sans tenir compte de l'âge. Nous avons choisi la valeur 10 comme valeur maximale de comptage pour les enfants de ce groupe. Nous souhaitons regrouper les enfants les plus en échec, tout en conservant un effectif suffisant pour les analyses statistiques. Le groupe « forts » en comptage se compose des enfants les meilleurs en comptage, ils comptent au minimum jusqu'à 33, valeur bien supérieure à celle du plus grand support (soit 20 cm) proposé aux enfants. Rappelons que nous avons calculé la moyenne des DRE sur chaque taille de ligne support.

Nous ne pouvons cependant avancer que cette analyse complémentaire des enfants faibles ou forts en comptage confirme notre hypothèse. En effet, notre analyse porte ici sur toutes les valeurs de la ligne-support de 20 cm. Or, les enfants « faibles » ne comptent pas jusqu'à 10. Il semblait donc évident que les valeurs au-delà de 10 seraient placées avec moins de précision que chez les enfants « forts ». Nous pouvons donc seulement constater que les résultats obtenus sont conformes aux attentes induites par la constitution des groupes. Il aurait été plus pertinent d'analyser les résultats sur les traits de 5 et 10 cm, ou seulement le placement des valeurs 20, 40, 50, 80 mm sur le trait de 20 cm.

## **II. Discussion sur les caractéristiques de la ligne numérique mentale**

### **A. Généralités sur les effets de distance et de taille des ligne supports**

Rappelons que nous avons observé, sur l'ensemble de la population, un effet de distance sur la ligne support de 10 cm. Sur la ligne de 20 cm, l'effet de distance qui apparaît traduit seulement une variation de la DRE en fonction des valeurs à placer. De plus, il est modulé par un effet des bornes extrêmes, comme nous l'avons développé plus haut.

Les constats qui suivent sont issus des analyses séparés des enfants de 4 et 5 ans.

## **B. Evolution détaillée de l'effet de distance**

### **1. Enfants de 4 ans : Effet de distance**

L'empan d'erreur tend à augmenter en fonction de la taille de la valeur à placer, comme l'atteste l'étude des placements de toutes les valeurs sur la ligne support de 20 cm.

Ceci est cohérent avec l'effet de distance décrit dans la littérature. En effet, la ligne numérique mentale est modélisée comme compressée vers la droite (dans la zone des grands nombres), donc l'imprécision est censée augmenter avec la valeur à placer. Toutefois, contrairement à cette tendance et aux résultats attendus, la distance 20 mm donne lieu à une erreur plus importante que la distance 40 mm sur les lignes support de 10 et 20 cm.

Cependant, cette tendance n'était pas suivie pour le support de 5 cm, où la valeur 20 mm était mieux placée que la valeur 40 mm. Cela peut s'expliquer par le fait que beaucoup d'enfants graduent, « de un en un », pour placer les cibles, et nous nous sommes rendu compte que beaucoup augmentaient la taille de leur unité de référence au fur et à mesure qu'ils montaient sur la ligne. Le fait d'augmenter l'unité de référence, au fur et à mesure de l'augmentation du nombre à placer, ne choque pas les enfants de 4 ans pour les traits de 10 et 20 cm, car ils ne peuvent réguler le placement de la valeur 40 mm par rapport à l'extrémité du trait de 10 ou de 20 cm, qui est éloigné de la valeur 40 mm, alors qu'ils peuvent rectifier le placement de 40 par rapport à l'extrémité du trait de 5 cm. Nous n'avions pas anticipé cet effet des bornes extrêmes.

### **2. Enfants de 5 ans : Effet de distance**

Lorsqu'on compare le placement de toutes les valeurs sur la ligne support de 20 cm, l'effet de distance est significatif. Les valeurs sont pour la plupart (sauf 170 mm) surestimées ; cette surestimation affecte particulièrement les valeurs 80 mm et 120 mm, qui se différencient significativement des autres. Les valeurs les plus proches des extrémités des segments donneraient lieu à des erreurs relativement faibles, généralement des surestimations, alors que celles correspondant au milieu des segments s'écartent très fortement de distance exacte. En somme, l'erreur augmente avec l'éloignement des extrémités, ce qui rejoint les résultats obtenus par Newman & Berger (1984) avec des enfants plus âgés. L'effet des bornes

extrêmes est donc encore présent chez les enfants de 5 ans, malgré leur meilleure maîtrise du comptage.

Si on compare le placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm, on constate que l'effet de distance n'est pas significatif. L'erreur ne varie pas significativement (Tukey HSD, figure 8) en fonction de la distance lorsque la ligne support est de 5 cm, en revanche l'erreur est plus importante avec le segment de 10 cm, bien qu'elle reste non significative (Tukey HSD). L'erreur s'accroît encore et devient significative avec celui de 20 cm ( $p < .02$  Tukey HSD). Là encore ces résultats sont compatibles avec le fait que, plus la distance à évaluer s'éloigne d'une extrémité et plus l'erreur d'estimation augmente.

### **C. Evolution de l'effet de taille de la ligne support**

#### **1. Enfants de 4 ans : Effet de taille de la ligne support**

L'erreur augmente significativement pour une même valeur à placer, en fonction de la taille de la ligne support. Cela n'est guère étonnant au vu des observations cliniques faites lors du placement de cibles par les enfants. En effet, nous avons noté que, plus le trait proposé était grand, plus les enfants avaient tendance à choisir une unité de référence grande. De plus, souvent, les enfants de cette classe d'âge ne comptent pas jusqu'à 20 sans erreur et de manière aisée.

#### **2. Enfants de 5 ans : Effet de taille de la ligne support**

L'effet de la taille de la ligne support est significatif pour le placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm : l'erreur correspondant à une sous estimation avec 5 cm se transforme en surestimation dont l'empan augmente significativement pour 10 et 20 cm.

### **III. Critiques de notre étude**

Nous aurions pu tenter d'analyser l'impact des stratégies d'utilisation du comptage, comme l'on fait Newman & Berger (1984), en formant des groupes selon ce critère. Pour cela, il aurait fallu intégrer une observation stricte des stratégies et surtout proposer des tâches

spécifiques pour les mettre en évidence, l'observation lors de la tâche de placement de cible n'étant pas suffisamment précise. Nous n'avons pas prévu que de si jeunes enfants, encore en cours d'acquisition de la chaîne numérique, puissent en même temps être en train de mettre en place des stratégies plutôt perfectionnées.

Nous avons prévu deux épreuves qui n'ont pas été exploitées : l'épreuve de dénombrement, et celle de comparaison de quantités discrètes.

L'épreuve de comparaison a été réussie par tous les enfants de notre population, sans exception. Les enfants échouaient sur les mêmes items, sans pattern d'erreurs distincts. Elle s'est donc révélée peu significative, et nous n'avons pu tirer de pistes de réflexion avec cette épreuve.

L'épreuve de dénombrement a donné lieu à une analyse qualitative des résultats, des comportements des enfants et de leurs stratégies, ce qui était intéressant pour notre expérience clinique. Nous n'avons toutefois pas pu dégager de critères pertinents à mettre en lien avec les analyses statistiques testant notre hypothèse. Il est important de préciser que l'on considère comme correct un dénombrement où à un pointage correspond l'énonciation d'un nom de nombre, et ce même si la suite conventionnelle de la chaîne numérique n'est pas respectée (Fuson, 1988). Ainsi, un enfant peut ne pas donner la quantité attendue pour une planche pourra tout en ayant une procédure de dénombrement adéquate. De la même manière, donner le nombre exact d'éléments comptés ne signifie pas obligatoirement que le dénombrement est réussi. Des compétences attentionnelles et praxiques interviennent dans cette procédure, en plus de la maîtrise de la chaîne numérique verbale. C'est pourquoi nous avons préféré n'utiliser que l'épreuve de comptage pour nos analyses.

Sur le plan qualitatif, nous avons constaté que les enfants, dès 4 ans, donnent immédiatement la réponse pour 2, sans compter.

Pour 4, certains enfants comptent, d'autres donnent la réponse immédiatement. A partir de 5, la majorité des enfants compte, mais le plus souvent sans avoir besoin de pointer du doigt. Souvent, il était utile de leur préciser qu'ils pouvaient compter, à partir de la planche avec 8 éléments. De nombreux enfants, après avoir donné « 4 » et « 5 » avaient intuitivement tendance à répondre « 6 » pour la planche de 8 éléments. Le pointage du doigt, souvent initié sur cette planche, était conservé jusqu'à la fin de l'épreuve.

On note que beaucoup d'erreurs de dénombrement sont dues à une mauvaise coordination pointage-énonciation. Certains enfants pointent trop vite, et donnent donc un nombre plus petit que le nombre attendu, puisque la chaîne numérique n'a pas pu être assez

« déroulée », tant le geste manuel était rapide. D'autres comptent plus vite qu'ils ne pointent, et aboutissent donc à un nombre plus grand que celui attendu (voir annexe 6 a et 6 b).

## **IV. Etudes de cas**

### **A. Mathis**

Contrairement à nos attentes, l'épreuve de comptage est échouée, puisqu'en ne comptant que jusqu'à 6, Mathis est largement en dessous des performances de notre population, pourtant composée d'enfants plus jeunes. Rappelons qu'à 6 ans, les enfants sont censés compter jusqu'à 100.

L'épreuve de comparaison de quantités discrètes est aussi échouée, son score de 11/18 le place au niveau des enfants de 4 ans les plus faibles de notre population pour cette épreuve. Le retard de langage a également eu des répercussions sur la compréhension des consignes. On note qu'une mauvaise compréhension du vocabulaire de la consigne l'a pénalisé au début de l'épreuve, avant l'adaptation des examinateurs. De plus, il désignait les tas de manière très impulsive, sans prêter attention aux contenus des groupes de points.

Au vu du faible nombre de planches effectuées, l'épreuve d'évaluation globale est peu significative. A aucun moment, Mathis n'a tenté de compter ou de graduer la ligne support pour placer la cible. Au vu de son faible niveau de maîtrise de la chaîne numérique verbale, Mathis ne peut évidemment mettre en place de stratégies d'utilisation du comptage, comme les enfants tout-venant de sa classe d'âge.

### **Conclusion**

Les difficultés en évaluation globale des longueurs ne peuvent être rapprochées des données de la littérature dans la mesure où, chez cet enfant, les compétences langagières sont atteintes au même titre que les compétences visuo-praxiques.

Les difficultés visuo-spatiales de Mathis, et des enfants atteints d'un syndrome de Williams et Beuren, gênent le développement de la ligne numérique mentale. La maîtrise du système langagier est un autre pilier de la construction du nombre. Le retard de langage de Mathis ne peut que majorer sa difficulté dans le développement numérique.

Il serait intéressant de proposer à nouveau notre protocole à Mathys dans quelques mois. Nous pourrions alors comparer l'évolution de son niveau de langage oral, de représentation analogique du nombre, et de maîtrise du système numérique. Mais nous supputons qu'un meilleur niveau de langage oral ne suffira pas à améliorer ses performances numériques.

## **B. Lucie**

La faible maîtrise de la chaîne numérique verbale chez Lucie est associée à des performances abaissées en évaluation globale des longueurs.

De plus, lors de l'épreuve de dénombrement, elle a tendance à pointer trop vite les objets : la coordination pointage/énonciation n'est pas encore efficace. Chez Lucie, le manque de maîtrise du comptage ne paraît pas liée à un retard de langage. Il serait donc intéressant de proposer à cette enfant un apprentissage à l'aide de supports variés : jeux, comptines numériques, présentation visuelle des nombres. Cette modalité peut s'envisager à l'aide d'un boulier ou d'une réglette.

## **V. Questions soulevées**

Notre étude montre que l'effet du comptage est significatif pour la moyenne des placements sur la ligne support de 20 cm, que ce comptage est prédictif pour le placement de 80 mm sur la ligne de 10 cm et pour les placements de 120 mm sur la ligne de 20 cm. On peut donc se demander quels autres facteurs interviennent dans le type de tâche que nous avons proposé. A notre connaissance, le placement de cible sur des traits non gradués, à aucune des extrémités, n'a jamais été proposé à des enfants de cet âge pour investiguer la précision de la ligne numérique mentale. Newman & Berger (1984) proposaient des traits dont l'extrémité portait une valeur, à des enfants de primaire (de 6 à 9 ans).

## **VI. Ouvertures**

Nous rappelons que notre étude n'a pas pour ambition de montrer comment le comptage influe sur l'évolution de la ligne numérique mentale. Notre protocole et notre population ne nous permettent pas d'affirmer dans quelle mesure la première influe sur la seconde. Ce mémoire vise à mettre en évidence des corrélations éventuelles entre le niveau de

maîtrise de la chaîne numérique verbale et la précision de la ligne numérique mentale. Il serait donc pertinent de poursuivre cette recherche sur la nature de l'influence du comptage dans le développement de la ligne numérique mentale.

Il serait aussi intéressant de mettre en lien les analyses précédentes sur l'évolution de la ligne numérique et de ses effets caractéristiques (distance, taille du support) en fonction du niveau de maîtrise du comptage.

La passation de ce protocole à d'autres enfants atteints du syndrome de Williams et Beuren serait également pertinente.

## **CONCLUSION**

Nous avons mis en évidence l'influence de la maîtrise de la chaîne numérique verbale sur la précision en évaluation globale. Cependant, cette influence ne se fait pas pour toutes les valeurs étudiées. Il serait donc intéressant de poursuivre la recherche en proposant d'autres protocoles étudiant le lien entre les compétences numériques préverbales et les représentations symboliques.

D'autre part, notre étude nous a permis d'observer les caractéristiques de la ligne numérique mentale décrites dans la littérature. Les résultats montrent la présence d'un effet de distance et d'un effet de taille des lignes-supports.

L'influence d'acquisitions comme le comptage sur le développement numérique s'inscrit dans le cadre de la recherche développementale. Les observations faites sur enfants tout-venant permettent de mieux comprendre le fonctionnement d'enfants atteints de telles pathologies. Certaines maladies génétiques, comme le syndrome de Williams et Beuren, ou certains troubles cognitifs spécifiques comme la dyspraxie visuo-spatiale entraînent des troubles du développement numérique. Une meilleure connaissance de l'influence du comptage sur le développement de la ligne numérique mentale pourrait permettre de mettre en place des rééducations plus adaptées.

## **BIBLIOGRAPHIE**

## Ouvrages

Dehaene, S., (1997). *La bosse des maths*. Paris : Odile Jacob

Dehaene, S., & Cohen, L., (2000). Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. In M. Pesenti & X. Seron (Eds) *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, 191-232. Marseille : Solal.

Deloche, G., & Seron, X., (1987). Numerical transcoding : A general production model. In G. Deloche & X. Seron (Eds), *Mathematical disabilities : a cognitive neuropsychological perspective*, 137-170 Hillsdale, N.J. : Erlbaum.

Fayol, M., Camos, V., & Roussel, J.L., (2000). Acquisition et mise en oeuvre de la numération par les enfants de 2 à 9 ans. In Pesenti, M., Seron, X. (Eds), *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*, 33-58. Marseille : Solal

Fayol, M., (2002). Le facteur verbal dans les traitements numériques : Perspective développementale. In J. Bideaud & H. Lehalle (Eds), *Le développement des activités numériques*, 151-173. Paris : Hermès.

Fayol, M., Perros, H. & Seron, X., (2004). Les représentations numériques : Caractéristiques, troubles et développement, In M.-N. Metz – Lutz, E. Demont, C. Seegmuller, M. de Agostini & N. Bruneau (Eds), *Développement cognitif et troubles des apprentissages*, 69 -107. Marseille : Solal.

Fuson, K., (1988). *Childrens counting and concepts of number*. Springer Verlag, New-York.

Gallistel, C., & Gelman, R., (1991). The preverbal counting process. In W. Kessen, A. Ortony, F. Craik (Eds), *Thoughts, memories and emotions : Essays in honor of George Mandler*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdales, 65-81.

Gelman, R., & Gallistel, C., (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA : Harvard University Press.

Klahr, D., & Wallace, J., (1976). *Cognitive development : an information-process view*. Erlbaum Hillsdale NJ.

Lecointre, A.S. Lépine, R. & Camos, V., (2005). Développement et troubles des processus de quantification. In M.-P Noël (Ed), *Approche neuropsychologique et développementale des difficultés de calcul chez l'enfant*, Solal : Marseille.

Levelt, W. J. M., (1989). *Speaking : From Intention to Articulation*, Cambridge : MIT Press.

Pesenti, M. & Rousselle, L., (2004). Les procédures de quantification chez l'enfant. In A. van Hout, C. Meljac & J.P. Fischer (Eds), *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Paris : Masson.

Rousselle, L., (2005). Le point sur la question des compétences numériques précoces, in M.-P Noël (Ed), *Approche neuropsychologique et développementale des difficultés de calcul chez l'enfant*, Solal : Marseille.

## Articles

Alibali, M.W. & DiRusso, A.A., (1999). The function of gesture in learning to count : more than keeping a track, *Cognitive Development*, 14, 37-56.

Briars, D., & Siegler, R.S., (1984). A featural analysis of preeschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology*, 20 (4), 607-618.

Brysbaert, M., (1995). Arabic number reading : On the nature of numerical scale and the origins of phonological recoding. *Journal of Experimental Psychology : General*, 124, 343 - 447.

Camos, V., Fayol, M., & Barrouillet, P., (1999). L'activité de dénombrement chez les enfants : double tâche ou procédure ? *L'Année Psychologique*, 99, 623 – 645.

Clearfield, M.W., & Mix, K., (2001). Amount versus number : Infants' use of area and contours length to discriminate small sets. *Journal of Cognition and Development*, 2, 243-260.

Cohen, L., & Dehaene, S., (1991). Neglect dyslexia for numbers ? A case report. *Cognitive Neuropsychology*, 8, 39-58.

Dehaene, S., & Cohen, L., (1991). Two mental calculation systems : A case study of severe dyscalculia with preserved approximation. *Neuropsychologia*, 29, **1045-1074**.

Dehaene, S., (1992). Varieties of numerical abilities, *Cognition*, 44, 1-42.

Dehaene, S., & al. (2003). Three parietal circuit for number processing, In *Cognitive Neuropsychology*, 200, 497-506.

Dehaene, S., & Changeux, P., (1993). Development of elementary numerical abilities : a neuronal model. In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5 (4), 390-407.

Dehaene, S., (1998). Représentation des nombres dans le cerveau. *Bulletin de la Fondation IPSSEN*, 10, 10-16.

Feigenson, L., Carey, S. & Spelke, E., (2002). Infants' discrimination of number vs continuous extent, *Cognitive Psychology*, 44, 33-66.

Frith, C. & Frith, U., (1972). The solitary illusion : An illusion of numerosity. *Perception and Psychophysics*, 11 (6), 409-410.

Gallistel, C., & Gelman, R., (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44, 43-74.

- Gelman, R., & Meck, E., (1983). Preschooler's counting : Principles before skill. *Cognition*, 13, 343-359.
- Graham, T., (1999). The roles of gesture in children's learning to count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 333-355.
- Hayes, P., (1973). The frame problem and related problems, *Artificial and human thinking*, 45-59.
- Lipton, J., & Spelke E., (2005). Preschool 's mapping of number words to nonsymbolic numerosities. *Child Development*, 76 (5), 978 – 988.
- McCloskey, M., (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation : evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4, 171 - 196.
- McCloskey, M., Sokol, S. & Goodman, R., (1986). Cognitive processes in verbal-number production : Inferences from the performance of brain-damaged subjects. *Journal of Experimental Psychology : General*, 115, 307-330.
- McCloskey, M., (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing : evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107 – 157.
- Mix, K.S., Huttenlocher, J., & Levine, S.C., (2002). Multiples cues for quantification in infancy : is number one of them ?, *Psychological Bulletin*, 128, 278 - 294.
- Mix, K.S, (1999). Similarity and numerical equivalence : Appearances count. *Cognitive Development*, 14, 269-297.
- Newman, R., (1984). Children numerical skill and judgements of confidence in estimation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37, 107-123.
- Newman, R. & Berger, C.F. (1984). Children's numerical estimation : Flexibility in the use of counting. *Journal of Educational Psychology*, 76 (1), **55-84**.
- Pasini, M. & Tessari, A., (2001). Hemispheric specialisation in quantification processes. *Psychological Research*, 65, (1), 57-33.
- Paterson, S., (2001). Language ad number in Dow syndrome: the complex developmental trajectory from infancy to adulthood. *Down Syndrome Research and Practice*, 7, 79-86.
- Rousselle, L., Palmers, E., & Noël, M.P., (2004). Magnitude comparison in preeschoolers : what counts ? Influence of perceptual variables. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 57-84.
- Temple, E., & Posner, M.-I., (1998). Brain mechanisms of quantity are similar in 5-years-old children and adults. *Proceeding of the National Academy of Science (USA)*, 95, 7836-7841.
- Uler, C., Carey, S., Huntley-Fenner, G., & Klatt, L., (1999). What representation might underlie infant numerical knowledge?, *Cognitive Development*, 14, 1-36.

Van Oeffelen, M., & Vos, P., (1982). Configurational effects on the enumeration of dots : Counting by groups. *Memory and Cognition*, 10 (4), 396-404.

Verguts, T., Fias, W., & Stevens, M., (2005). A model of exact small-number representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 66-80.

Vos, P., Van Oeffelen, M., Tibosh, H., et al (1988). Interaction between area and numerosity. *Psychological Research*, 50 (3), 148-155.

Wynn, K., (1992). Addition and subtraction by human infants, *Nature*, 358, 749-750.

Wynn, K., (1995). Origins of numerical knowledge, *Mathematical Cognition*, 1 (1), 35-60.

Wynn, K., Bloom, P., & Chiang, W.-C., (2002). Enumeration of collective entities by 5 – month – old infants, *Cognition*, 83, B55 – B 62.

Xu, F. & Spelke, E.S., (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants, *Cognition*, 74, B1-B11.

## **Mémoire**

Chazoule, G., (2005). *Les représentations du nombre chez le jeune enfant : Le modèle du triple code, une perspective développementale. Organisation de la cognition numérique au cours du développement.* Mémoire pour l'obtention du DEA, sous la direction de M. Fayol. Université Blaise Pascal, Clermont- Ferrand.

**ANNEXE 1**

**Données relatives au sujet testé**

**Prénom :**

**Date de naissance :**

**Age en mois :**

**Comptage:**

**Remarques :**

**ANNEXE 2**  
**Activité de comparaison**

	Ensemble A	Ensemble B	Points
Planche 1	-	+	
Planche 2	-	+	
Planche 3	+	-	
Planche 4	+	-	
Planche 5	+	-	
Planche 6	-	+	
Planche 7	+	-	
Planche 8	-	+	
Planche 9	-	+	
Planche 10	+	-	
Planche 11	+	-	
Planche 12	-	+	
Planche 13	+	-	
Planche 14	-	+	
Planche 15	-	+	
Planche 16	+	-	
Planche 17	-	+	
Planche 18	-	+	

TOTAL : / 18

**Activité de dénombrement**

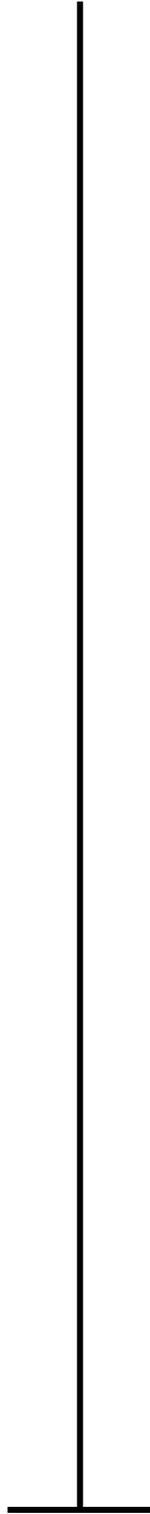
	Réponse attendue	Réponse de l'enfant	Stratégie
Planche 1	2		
Planche 2	4		
Planche 3	5		
Planche 4	8		
Planche 5	10		
Planche 6	12		
Planche 7	15		
Planche 8	17		
Planche 9	20		

TOTAL : / 9

## ANNEXE 3

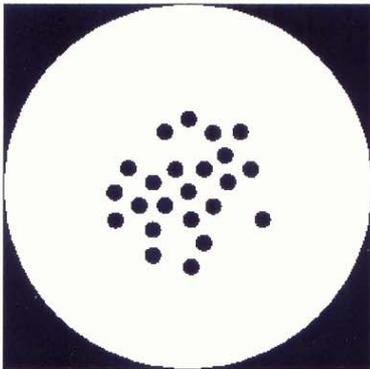
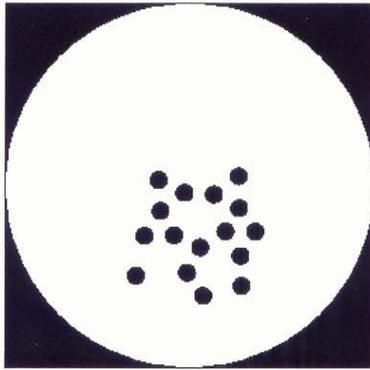




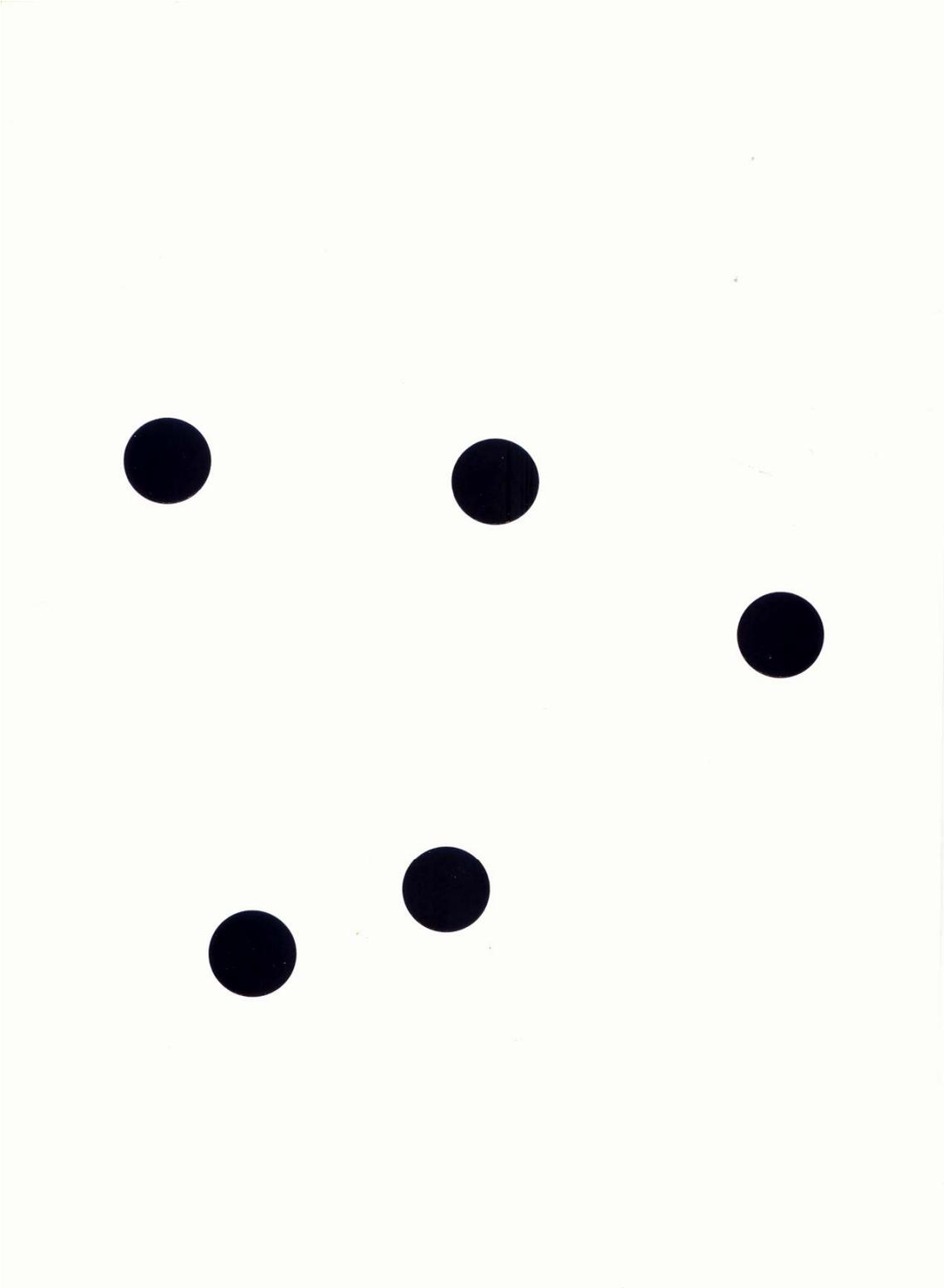


ANNEXE 4

Item 1



**ANNEXE 5**



## ANNEXE 6 a

Tableau récapitulatif de la tâche dénombrement – Enfants de 4 ans.

	Procédure de dénombrement correcte		Procédure de dénombrement incorrecte		Erreurs « visuelles »		Pas de dénombrement
	Bonne réponse	Réponse erronée	Dénomination trop rapide	Pointage trop rapide	Oubli de cibles	Comptées plusieurs fois	
<b>Thomas</b>	2-4-5-8-10-12-15				20	17	
<b>Cédric</b>	2-4-5-8-10-12-15-17					20	
<b>Christelle</b>	2-4-5-8-12			15-17-20			
<b>Lola</b>	2-4-5-8-10	20	17			12-15	
<b>Jules</b>	2-4-5-10-12-15	17			8	20	
<b>Lucie</b>	2	5-10	12	4-15-17-20	8		
<b>Yasmine</b>	2-4-5-8-10				115	12-17-20	
<b>Lauryne</b>	2-4-5-8-10-15	20			17	12	
<b>Manon</b>	2-4-5	15-17		10-20		8-10	
<b>Hugo</b>	2-4-5			12-15-17-20	8-10		
<b>Matéo P.</b>	2-4-5-10-12	15			17-20		
<b>Ambre</b>	2-4-5-8-10-12	17-20			15		
<b>Adeline</b>	2-4-5-8-10-12-15	17-20					
<b>Dorian</b>	2-4-5-10-12-15-17	8				20	
<b>Louis</b>	2-4-5						10-12-15-17-20
<b>Aymerick</b>	2-4-5-8-10				12-15-17-20	12-15-17-20	
<b>Mehdi</b>	2-4-5-8-10				20	12-15-17	
<b>Emma</b>	2-4-5-8-10-12-15-17-20						
<b>Julie</b>	2-4-5-10-12	17		15		8-20	
<b>Chloé</b>	2-4-5-8-10	12-15-17-20					
<b>Amelle</b>							
<b>Julien</b>	2-4-10	15			5	8-12-17-20	
<b>Tymothé</b>	2-4-5-8-10-12-15-17-20						
<b>Ludovic</b>	2-4	5-	8-10-12-15-17-20				
<b>Florian</b>	2-4-5-8-10-12-15	20				17	
<b>Carla</b>	2-4-5-8-10				17	12-15-20	
<b>Marina</b>	2-4-5-10-12-17			8		20	
<b>Hug</b>	2-5-					8-10	
<b>Manuella</b>	2-4-5-10-12-		17-20		8-15		
<b>Alyssa</b>	2-4-5-8-10					12-15-17-20	

## ANNEXE 6 b

Tableau récapitulatif de la tâche dénombrement – Enfants de 5 ans.

	Procédure de dénombrement correcte		Procédure de dénombrement incorrecte		Erreurs « visuelles »		Pas d'énumération
	Bonne réponse	Réponse erronée	Dénominateur trop rapide	Pointage trop rapide	Oubli de cibles	Comptées plusieurs fois	
<b>Rémy G.</b>	2-4-5-8-10-12	15				17-20	
<b>Julie G.</b>	2-4-5-8-10-12-15				16-20		
<b>Mattéo L.</b>	2-4-5-8	15-17-20				10-12	
<b>Tom R.</b>	2-4-5-8-10					12-15-17-20	
<b>Adil</b>	2-4-5-8					10-12-15-17-20	
<b>Karim</b>	2-5-8-10-12				15	17-20	4
<b>Manon</b>	2-4-5-8-12-15				10-17	20	
<b>Claire</b>	2-4-5-8-12				10-17	15-20	
<b>Elsa</b>	2-4-5			10-12-15-17-20	8		
<b>Sarah</b>	2-4-5-10-12			8-15-17-19			
<b>Emilia R.</b>	2-4-5-12-17-20					15	8-10
<b>Corentin</b>	2-4-8-10-12-15	17-20					
<b>Alexandre</b>	2-4-5-8-10-12-15-17				20		
<b>Mathys M.</b>	2-4-5-8-10-20				17	12	
<b>Gaétan</b>	2-4-5-8-10-12				15-16-20		
<b>Alexis M.</b>	2-4-5-8-10-12-15-17-20						
<b>Ambrine B.</b>	2-4-5-10-12-20				15	17	8
<b>Louna B.</b>	2-4-5-8-10-12-15-17-20						
<b>Angelina</b>	2-4-5-8-10-12				15-17		
<b>Esteban</b>	2-4-5-8-10-12-15-20					17	
<b>Damien</b>	2-4-5-8-10-15-17	20			12		
<b>Bérangère</b>	2-4-5-8			10-12-15-17-20			
<b>Ornella</b>	2-4-5-8-10-12-17-20				15		
<b>Alex R.</b>	2-4-5-8-10-12-20				17	15	
<b>Enzo D.</b>	2-4-5-8-12-15-17	20-10					
<b>Justine</b>	2-4-5-10-20				8-12-17	15	
<b>Laetitia B.</b>	2-4-5-8-12-17					10-15-20	
<b>Myriam B.</b>	2-4-5-10-12-15				8-17	20	
<b>Quentin B.</b>	2-4-5-8-10-17-20				12-15		
<b>Mélanie P.</b>	2-4-8-12-17				10-15-20		5

ANNEXE 7 -Tableau récapitulatif des tâches d'évaluation globale et comptage - Enfants de 4 ans (1/2)

Sujets	Sexe	Age en mois	TEST 1																
			50	40	20	100	50	20	40	80	200	100	150	40	120	80	20	170	50
Thomas	M	48	50	-12	-1	100	9	0	-2	-14	200	7	-64	23	22	35	25	-12	8
Cédric	M	49	50	-11	-4	100	3	7	11	-14	200	8	-23	24	11	35	45	-22	46
Christelle	F	49	50	-2	-5	100	22	-1	11	-12	200	89	22	56	52	16	34	-30	39
Lola	F	51	50	-19	-3	100	-17	11	-23	-11	200	-23	-59	-5	-16	57	20	-60	-40
Jules	M	53	50	-14	-8	100	11	-5	8	20	200	14	50	41	80	120	16	30	44
Lucie	F	53	50	-17	3	100	1	21	11	-36	200	-38	-57	9	80	-39	43	-136	-21
Yasmine	F	54	50	-5	-4	100	2	5	9	-40	200	100	-3	6	26	-27	21	-81	6
Lauryne	F	54	50	6	-20	100	8	-20	21	10	200	7	35	-6	8	60	7	-40	97
Manon	F	54	50	1	6	100	30	8	37	20	200	78	44	4	76	86	19	12	-8
Hugo	M	55	50	-2	-3	100	30	-5	8	-8	200	61	23	148	14	95	53	-27	88
Matéo P.	M	55	50	0	-11	100	30	-4	22	20	200	63	50	75	80	52	18	30	92
Ambre B.	F	55	50	-7	-5	100	10	23	6	-6	200	79	-30	24	-42	-34	138	-56	64
Adeline	F	55	50	-34	6	100	17	15	-22	-21	200	-23	-81	24	-39	16	137	-77	50
Dorian	M	55	50	-32	4	100	-19	10	-5	-31	200	-16	-91	-14	-39	-35	68	-104	18
Louis P.	M	56	50	5	16	100	10	30	8	-27	200	30	-16	16	32	34	25	-48	19
Aymerick	M	56	50	-23	4	100	-5	18	27	-52	200	15	-37	70	3	34	28	-30	72
Mehdi	M	57	50	-11	4	100	50	21	60	20	200	100	50	160	80	120	180	30	150
Emma	F	57	50	10	-3	100	-6	17	8	-11	200	-15	-7	16	-2	45	40	-60	14
Julie	F	57	50	-1	-3	100	-7	46	49	-15	200	34	-25	56	-12	40	130	-45	81
Chloé	F	57	50	-27	2	100	-25	-13	-20	-41	200	30	16	-18	2	-30	8	-60	10
Amelle M.	F	58	50	2	9	100	20	-1	30	20	200	69	-28	35	80	6	18	-7	53
Julien S.	M	58	50	-15	-6	100	18	-1	9	20	200	100	-16	24	80	64	36	-49	69
Thymoté	M	58	50	0	-4	100	0	11	5	-12	200	35	17	23	30	10	34	-44	10
Ludovic	M	58	50	-17	-10	100	5	9	-1	-37	200	81	50	40	80	38	25	30	150
Florian	M	58	50	-12	-2	100	-8	-7	-5		200	-45	-41	16	-19	-13	14	-88	-8
Carla	F	58	50	-18	-6	100	37	-5	-7	-17	200	8	50	-18	80	15	7	6	-34
Marina	F	58	50	2	-2	100	47	-9	31	4	200	86	24	4	32	68	7	-9	17
Hug	M	59	50	3	15	100	25	22	-15	-67	200	-29	-98	-16	-95	-72	12	-162	150
Manuella	F	59	50	-25	-12	100	4	-6	-21	-45	200	-30	-61	-7	-29	-14	7	-43	-17
Alyssa	F	59	50	-21	14	100	1	12	-23	-6	200	23	1	52	80	57	58	30	41

**ANNEXE 7 -Tableau récapitulatif des tâches d'évaluation globale et comptage - Enfants de 4 ans (2/2)**

TEST 2																	COMPTAGE
50	20	40	100	80	40	20	50	200	50	170	20	80	120	40	150	100	
50	-6	-19	100	-4	-13	-7	0	200	10	30	-9	14	53	-9	-14	35	28
50	-7	-13	100	-12	7	3	-3	200	32	-12	16	29	32	35	-9	30	27
50	-3	-7	100	-5	11	12	11	200	34	-38	21	21	11	-8	-18	69	15
50	-14	-29	100	-13	0	1	-14	200	24	-66	-13	45	80	6	50	-4	15
50	-12	10	100	20	12	-9	9	200	41	30	-12	120	80	17	50	100	10
50	-9	-25	100	-55	-17	-10	-38	200	-19	-160	-3	-51	-78	-33	-115	-72	3
50	-11	-19	100	-29	-11	-9	-5	200	9	-72	-4	-25	-23	2	-28	100	27
50	-16	-4	100	0	20	-20	16	200	72	-46	-12	-3	-29	42	-45	9	48
50	-11	-24	100	-32	-20	-11	-18	200	-9	-89	-10	120	-15	-23	2	14	19
50	8	-5	100	2	39	25	24	200	80	10	63	40	-22	-24	-29	48	29
50	-12	-12	100	0	8	-5	5	200	20	-4	0	50	57	16	10	23	10
50	6	-10	100	20	60	80	50	200	150	-1	83	60	-10	60	-100	2	14
50	20	-16	100	-76	27	58	-4	200	-38	-81	11	-63	17	139	-58	79	5
50	-8	-12	100	-52	-10	1	-6	200	15	-122	23	17	-39	67	-44	-66	5
50	0	10	100	-22	-7	-12	-10	200	-2	-55	-16	26	-27	7	-39	81	14
50	3	-11	100	-18	18	33	-12	200	-7	-57	70	50	-25	33	-60	3	16
50	30	10	100	20	60	23	3	200	67	30	54	120	80	29	50	100	14
50	1	-12	100	-28	-8	11	-8	200	27	-73	10	4	-19	21	-55	-21	33
50	-4	-8	100	-18	14	45	0	200	50	30	102	39	80	101	-20	52	25
50	-11	-16	100	-36	-14	-11	-30	200	62	-47	-10	6	-19	-13	8	-54	20
50	22	-14	100	-19	15	-7	12	200	-6	76	-9	17	-38	61	3	18	9
50	-4	-25	100	-9	1	-9	50	200	150	75	-5	40	80	-7	-23	52	15
50	-11	20	100	-20	18	-5	4	200	38	73	-8	42	40	28	-8	21	39
50	-8	10	100	-33	-5	2	-8	200	14	30	11	0	80	50	50	100	14
50	-13	-24	100	-37	-9	-11	-16	200	39	-109	-8	-12	-51	4	-58	5	15
50	-12	10	100	-31	-26	-8	-35	200	-42	4	-6	46	80	-31	50	100	15
50	-13	-18	100	5	-15	-12	4	200	22	8	-10	-37	46	-2	50	88	27
50	14	-35	100	-30	-20	-4	-15	200	6	-71	0	13	-42	-29	-95	-45	15
50	-8	-23	100	-23	-18	-7	-37	200	-27	-64	-13	-26	-24	-22	-15	16	15
50	-3	-11	100	-16	32	5	4	200	54	-9	13	120	80	62	50	35	15

Sujets		Age	TEST 1																
5 ans	Sexe	en mois	50	40	20	100	50	20	40	80	200	100	150	40	120	80	20	170	50
Rémy G.	M	60	50	-10	-3	100	26	4	15	12	200	100	-147	160	80	120	-18	30	73
Julie G.	F	60	50	3	-1	100	31	-15	-27	15	200	18	11	-19	-44	-52	-15	-102	-34
Mattéo L.	M	60	50	-8	-6	100	18	8	18	20	200	100	-20	50	55	32	-8	30	8
Tom R.	M	60	50	-7	-2	100	30	8	33	20	200	100	50	131	-110	114	168	30	86
Adil	M	60	50	-20	-10	100	-3	-10	-14	-2	200	68	50	1	80	91	-10	23	-2
Karim B.	M	61	50	-9	-10	100	4	1	2	-24	200	48	-9	16	52	13	-7	16	33
Manon	F	61	50	-11	-14	100	15	25	23	4	200	80	45	-4	75	-12	-13	21	38
Claire B.	F	62	50	-11	-14	100	-10	-16	-25	0	200	61	19	-5	44	37	-16	-12	3
Elsa	F	63	50	-1	-4	100	34	-2	38	10	200	39	-41	11	-47	43	9	-64	-10
Sarah	F	63	50	-13	-12	100	0	-11	-9	-13	200	10	50	8	5	-1	-2	30	-8
Emilia R.	F	63	50	7	-19	100	23	24	34	10	200	59	36	114	38	90	47	30	42
Corentin	M	63	50	-16	-30	100	2	-11	2	-16	200	31	-19	1	34	74	-6	-59	13
Alexandre	M	64	50	-16	-8	100	2	-1	16	2	200	45	31	9	50	61	-11	19	9
Mathys M.	M	65	50	-18	-10	100	-13	-8	-18	-23	200	6	23	-9	12	68	-2	9	28
Gaétan	M	65	50	-4	-11	100	3	-13	-12	-6	200	12	17	-3	-17	12	-13	-28	-10
Alexis M.	M	65	50	-29	-16	100	-12	-15	-21	-39	200	-83	-27	-23	21	62	-14	-78	-4
Ambrine B.	F	66	50	-4	-4	100	9	-1	27	5	200	100	50	27	45	64	43	30	53
Louna B.	F	66	50	-12	0	100	7	41	13	-28	200	37	3	26	-8	-12	4	-30	18
Angelina	F	67	50	-2	-6	100	48	3	11	14	200	95	50	10	80	104	-8	30	15
Esteban	M	67	50	-11	1	100	1	2	3	-27	200	23	-8	18	36	7	0	-31	24
Damien	M	68	50	-11	-6	100	12	3	-5	20	200	-2	44	21	80	42	-2	30	74
Bérangère	F	68	50	-8	5	100	14	-6	1	-5	200	2	-2	-13	26	11	-7	30	150
Ornella	F	69	50	1	-11	100	4	-11	-5	-8	200	-13	-38	-13	0	29	-14	20	-16
Alex R.	M	70	50	10	30	100	2	1	14	-2	200	83	50	52	75	90	0	18	43
Enzo D.	M	70	50	0	-12	100	1	-8	-15	-13	200	29	25	4	21	30	-9	-1	-3
Justine	F	70	50	1	-13	100	-3	-4	0	-2	200	42	19	18	2	9	8	-27	-2
Laetitia B.	F	70	50	-6	0	100	-3	-5	-4	-13	200	21	22	-8	48	51	7	-51	-24
Myriam B.	F	70	50	2	-12	100	-9	-11	-14	-7	200	28	14	-15	11	11	-10	-98	-13
Quentin B.	M	71	50	-9	-8	100	10	-3	3	-8	200	54	31	0	8	-10	-8	1	17
Mélanie P.	F	71	50	-6	-2	100	-9	10	17	-21	200	59	27	0	47	3	21	-28	29

ANNEXE 8 –

Tableau récapitulatif des tâches d'évaluation globale et comptage

Enfants de 5 ans (1/2)

TEST 2																	COMPTAGE
50	20	40	100	80	40	20	50	200	50	170	20	80	120	40	150	100	
50	-9	-11	100	20	18	11	20	200	48	30	-2	120	80	4	-147	100	15
50	-18	-34	100	-58	-34	18	-43	200	-36	-53	-15	-55	-81	-32	-98	-66	24
50	-4	-28	100	20	-4	3	21	200	36	30	3	120	80	53	50	100	14
50	18	1	100	20	-7	0	9	200	88	30	21	120	80	46	29	100	10
50	-12	10	100	20	-1	-5	-7	200	0	30	-1	46	80	-8	50	58	14
50	-5	-17	100	-7	5	-12	-1	200	20	-12	-1	27	25	4	20	14	15
50	-10	3	100	20	-26	-12	1	200	4	-72	-12	-25	80	9	-44	-35	59
50	-16	-25	100	20	-3	-17	-13	200	8	-155	-16	-3	1	-13	50	-23	29
50	-7	-17	100	-21	-3	4	-19	200	2	-81	24	2	12	-12	50	-3	18
50	-13	-1	100	-10	-8	-1	-29	200	-16	30	-8	-31	-17	-9	50	100	39
50	-9	-17	100	3	-5	7	-5	200	24	-43	1	50	59	47	50	62	22
50	-9	-10	100	-15	-8	-3	6	200	6	30	-2	16	-103	10	50	46	30
50	-4	5	100	-7	-1	0	17	200	-4	-2	-13	41	35	-10	30	39	70
50	-10	-21	100	-8	-23	-8	-11	200	-6	3	-12	15	1	-24	16	18	28
50	-13	4	100	2	-16	-13	5	200	-33	2	-16	-15	2	-16	-2	4	100
50	-15	-28	100	-28	-19	-15	-13	200	65	-89	-13	11	-9	-18	-63	-10	27
50	-7	0	100	-11	12	3	50	200	23	30	37	38	80	27	50	100	14
50	-12	-18	100	-48	-13	-12	-15	200	-7	-46	-12	-31	12	-6	-24	12	47
50	-8	-16	100	-15	-4	-8	7	200	19	30	-11	93	80	29	43	95	49
50	-8	-11	100	-15	-7	-2	-16	200	1	30	7	12	38	10	50	9	29
50	-2	10	100	20	2	-2	50	200	76	30	38	120	80	59	50	100	18
50	-9	-6	100	-2	-17	2	10	200	4	-142	-3	120	80	-34	50	100	23
50	-14	5	100	5	-8	-16	-13	200	-3	17	-13	30	-28	-18	-13	-5	43
50	-2	-5	100	-2	15	12	25	200	40	-35	14	11	45	53	9	59	49
50	-11	20	100	0	-6	-8	-9	200	-14	-10	-4	48	11	-12	-8	-3	17
50	-3	-12	100	-16	-6	0	-8	200	-27	-6	-7	-18	-10	8	-3	-11	69
20	-11	-18	100	-6	-16	-12	-24	200	-22	-29	-4	43	26	-23	18	56	39
50	-13	2	100	-3	16	-1	-28	200	13	-40	-12	-26	-16	-17	-38	-41	20
50	-11	-18	100	-8	-3	-4	-7	200	1	-1	-5	31	57	-5	-18	17	29
50	1	-10	100	-14	0	7	10	200	21	-32	26	33	14	12	1	32	39

## ANNEXE 8 –

Tableau récapitulatif  
des tâches  
d'évaluation  
globale et  
comptage –

Enfants de 5 ans  
(2/2)

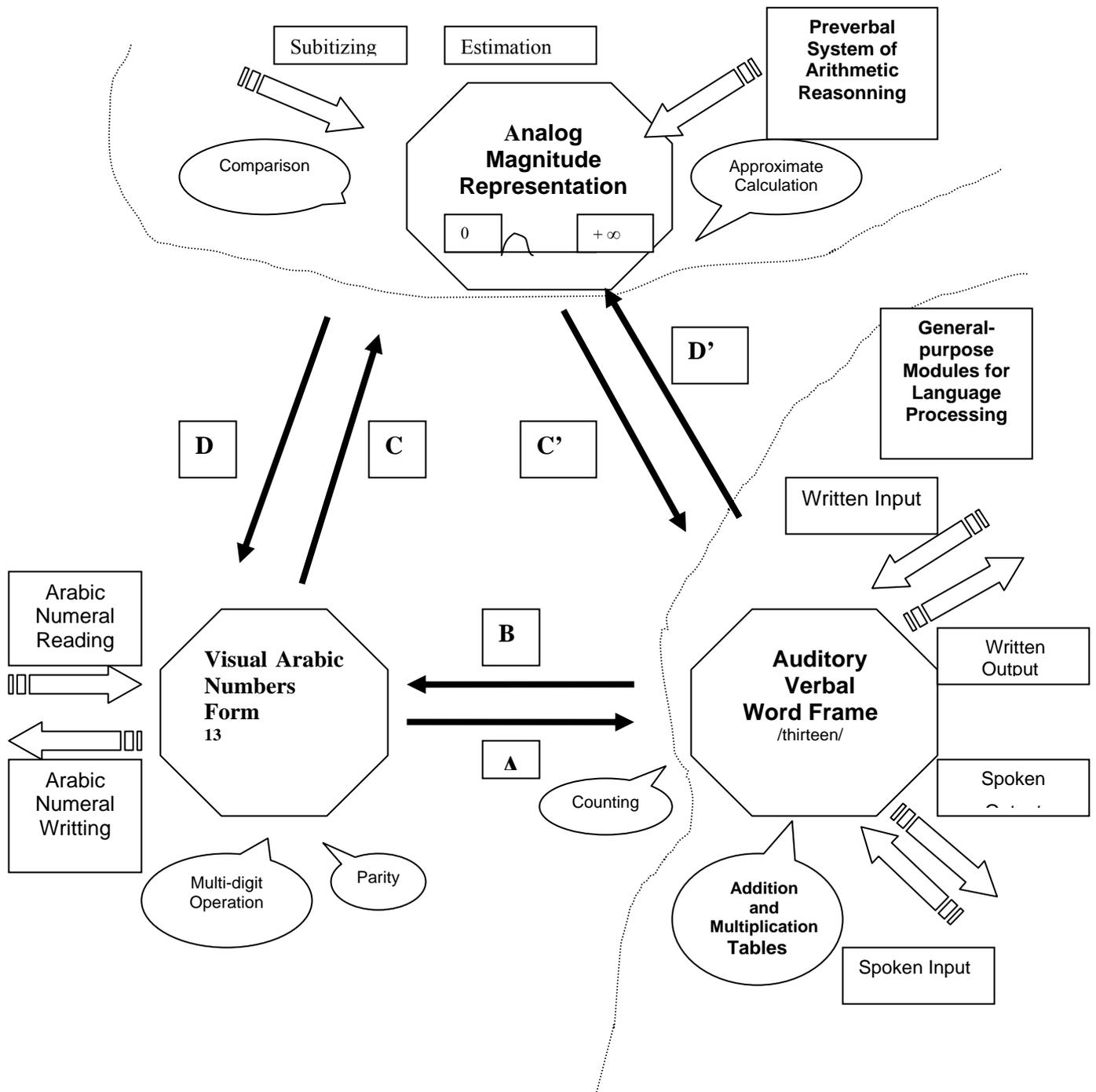


Schéma 1 : Représentation schématique du modèle du triple code (Dehaene, 1992)

Les trois types de représentations du nombre sont modélisés par les octogones, les flèches larges indiquent les inputs, les outputs et les traitements possibles pour chaque type de représentation.

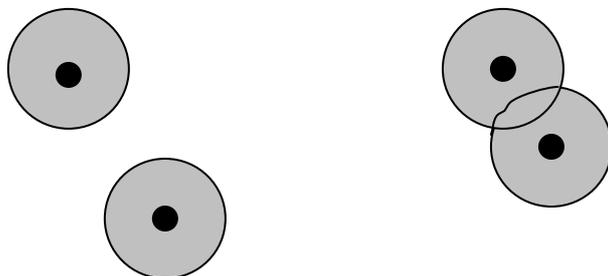
Schéma 2 a : Modèles théoriques sur l'estimation globale : Détection d'aires et de contours (Vos, Van Oeffelen, Tibosh & Allik, 1988)

Les points proches constituent des agglomérats, dont les contours fournissent des surfaces utilisées pour estimer la numérosité.



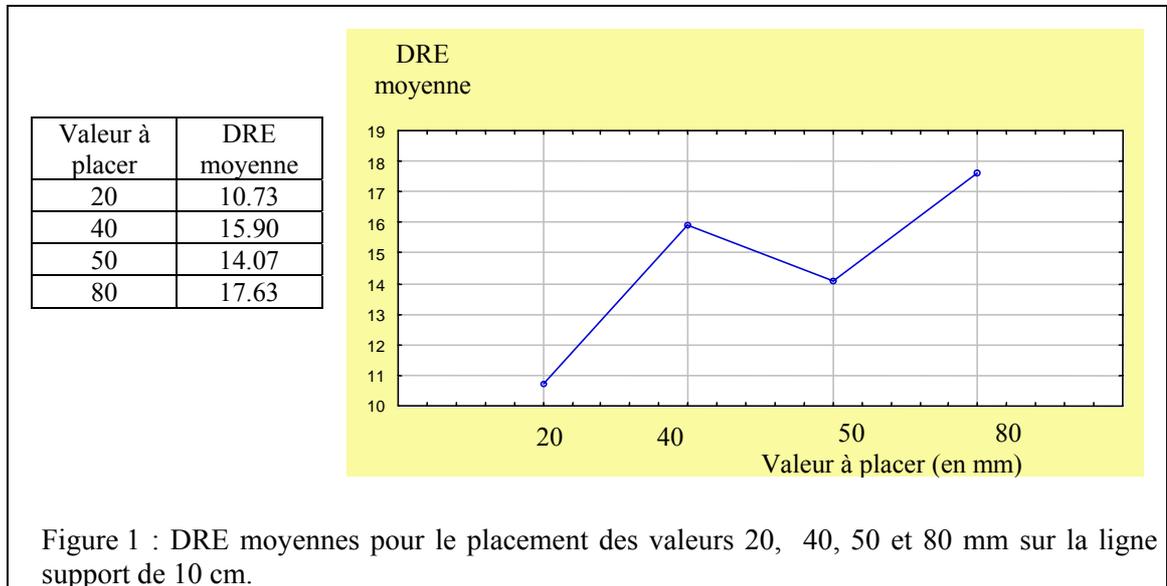
Schéma 2 b : Modèles théoriques sur l'estimation globale : Zone d'occupation (Allik & Tuulmets, 1991)

Chaque point active une zone (en gris) dont il est le centre. Si deux points sont proches, leurs zones se recouvrent, donc la numérosité est pensée diminuée.



	<b>Age</b>	<b>Comptage</b>
<b>Age</b>	1.00	<b>.42</b>
<b>Comptage</b>	<b>.42</b>	1.00

Tableau 1 : Corrélation entre l'âge et le niveau de comptage chez les enfants de 4 et 5 ans



	Age en mois	Comptage	DRE moyenne 20 mm sur 5 cm	DRE moyenne 40 mm sur 5 cm
Age en mois	1.00	.42	.246	-.20
Comptage	.42	1.00	.22	-.26
DRE moyenne 20 mm sur 5 cm	.25	.22	1.00	.035
DRE moyenne 40 mm sur 5 cm	-.20	-.256	.035	1.00

Tableau 2 : Corrélations entre les variables âge et comptage et les DRE moyennes de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm.

Prédiction des DRE pour 20 mm sur 10 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variabiles	t(57)	p-level
Age	-1.20	.24
Comptage	.82	.42

Prédiction des DRE pour 40 mm sur 10 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variabiles	t(57)	p-level
Age	-.69	.49
Comptage	-.94	.35

Prédiction des DRE pour 50 mm sur 10 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variabiles	t(57)	p-level
Age	-.85	.40
Comptage	-1.05	.30

Prédiction des DRE pour 80 mm sur 10 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variabiles	t(57)	p-level
Age	-.75	.46
Comptage	-2.42	<b>.02</b>

Tableau 3 : Influence des variables âge et comptage pour les placements des valeurs 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne support de 10 cm.

Valeur à placer (en mm)	DRE moyenne (en mm)
20	29.55
40	30.32
50	39.97
80	45.37
100	46.40
120	42.87
150	35.78
170	41.07

DRE moyenne (en mm)

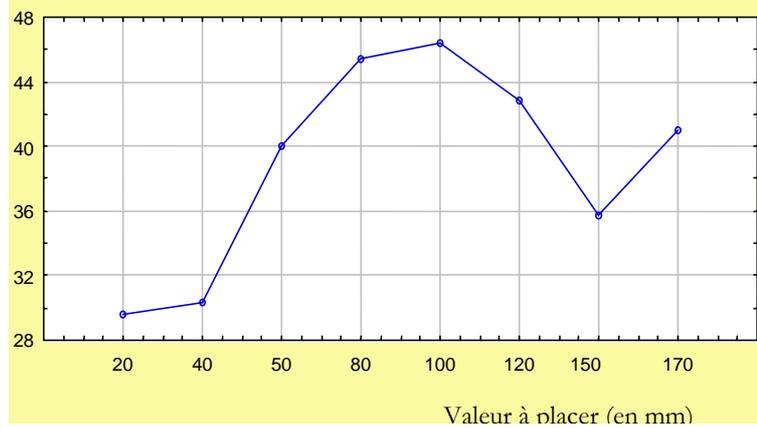


Figure 2 : DRE moyennes pour le placement des valeurs 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm.

Prédiction des DRE pour 20 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-1.83	.07
Comptage	-1.48	.14

Prédiction des DRE pour 40 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-.78	.44
Comptage	-1.43	.16

Prédiction des DRE pour 50 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-.48	.63
Comptage	-1.74	.09

Prédiction des DRE pour 80 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-.61	.55
Comptage	-.90	.37

Prédiction des DRE pour 100 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	.27	.79
Comptage	-.99	.33

Prédiction des DRE pour 120 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	.32	.75
Comptage	-2.54	<b>.01</b>

Prédiction des DRE pour 150 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-.81	.42
Comptage	-1.66	<b>.10</b>

Prédiction des DRE pour 170 mm sur 20 cm en fonction des variables âge et comptage :

Variables	t(57)	p-level
Age	-.71	.48
Comptage	-1.55	.13

Tableau 4 : Influence des variables âge et comptage pour les placements des valeurs 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm.

Variables	t(55)	p-level
Age	-.52	.61
Comptage	-2.12	<b>.04</b>
Performance sur 5 cm	-.30	.77
Performance sur 10 cm	3.42	<b>.001</b>

Tableau 5 : Influence des variables âge, comptage, performance sur la ligne support 5 cm, performance sur la ligne support 10 cm sur la performance sur la ligne support de 20 cm.

Variables	F - to entr/rem	p-level
Performance sur 10 cm	20.24	<b>.00003</b>
Comptage	6.23	<b>.02</b>

Tableau 6 : Comparaison de l'influence des variables réussite au placement sur 10 cm et comptage dans la précision sur la ligne support de 20 cm.

	t	p-level
Age en mois	-4.14	<b>.0006</b>
Comptage	-6.43	<b>.000004</b>

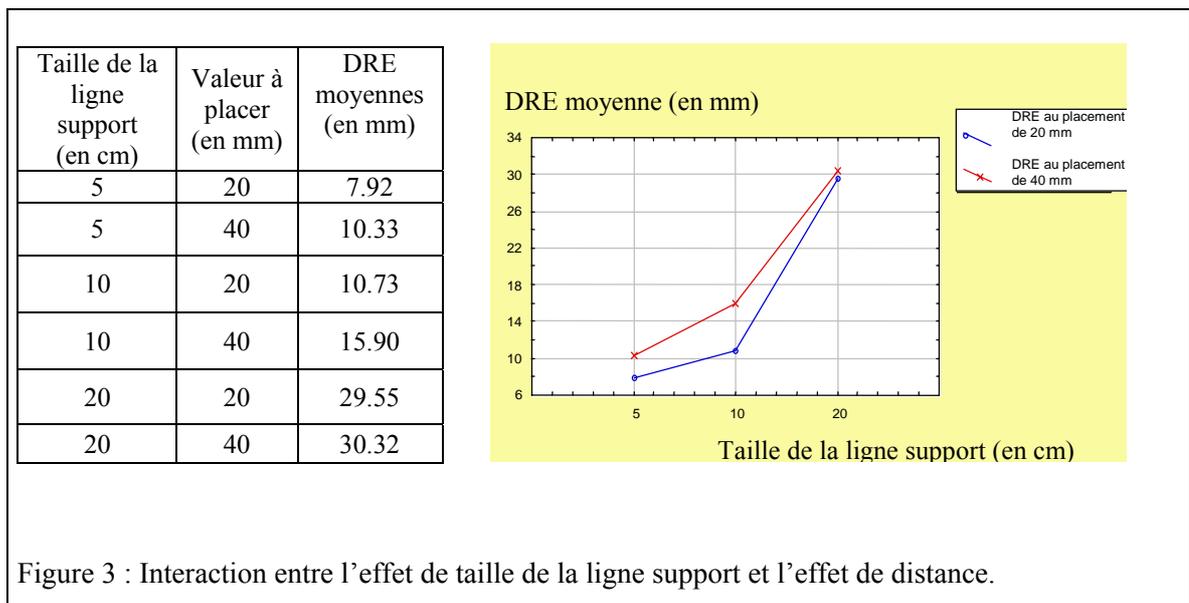
Tableau 7 : Significativité des caractéristiques des groupes 1 et 2.

	p- level
DRE moyenne sur 5 cm	.21
DRE moyenne sur 10 cm	.21
DRE moyenne sur 20 cm	.005

Tableau 8 : Effet isolé du comptage sur la réussite aux placements sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.

Taille de la ligne support	DRE moyenne
5 cm	9.13
10 cm	13.32
20 cm	29.93

Tableau 9 : Evolution des DRE pour le placement de 20 et 40 mm en fonction de la taille des lignes supports.



Taille de la ligne support	DRE moyenne
10 cm	14.58
20 cm	36.30

Tableau 10 : Evolution des DRE pour le placement de 20, 40, 50 et 80 mm en fonction de la taille des lignes supports 10 et 20 cm.

Valeur à placer (en mm)	DRE moyennes sur les lignes supports 10 et 20 cm (en mm)
20	20.14
40	23.11
50	27.02
80	31.50

DRE moyenne (en mm)

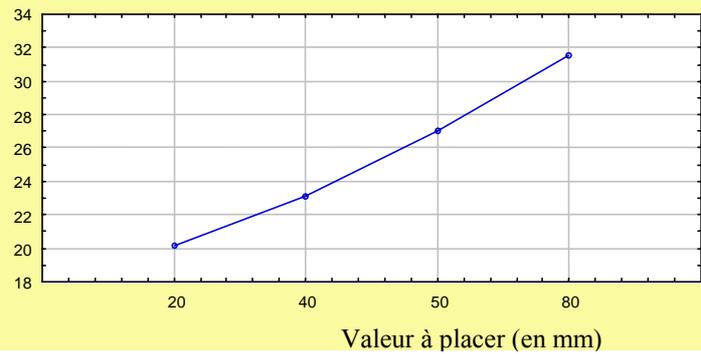


Figure 4 : DRE moyennes sur les lignes supports 10 et 20 cm pour le placement de 20, 40, 50 et 80 mm.

Taille de la ligne support (en cm)	Valeur à placer (en mm)	DRE moyennes (en mm)
10	20	10.73
10	40	15.90
10	50	14.07
10	80	17.63
20	20	29.55
20	40	30.32
20	50	39.97
20	80	45.37

DRE moyenne (en mm)

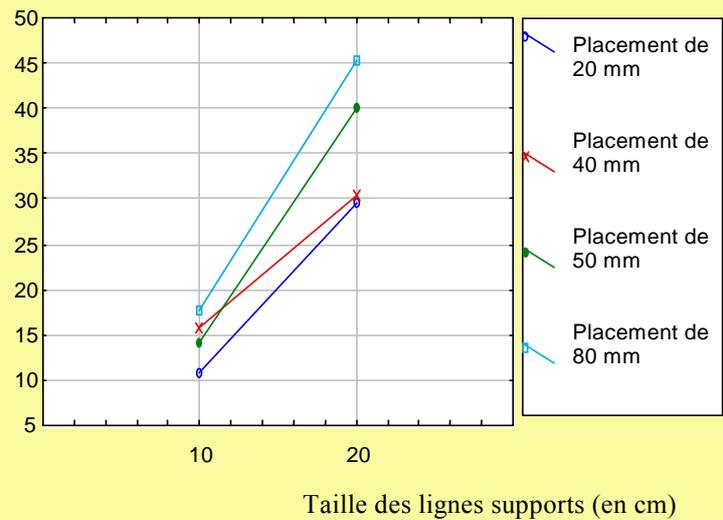


Figure 5 : Interaction entre l'effet de taille de la ligne support et l'effet de distance.

Taille de la ligne support (en cm)	DRE moyennes (en mm)
5	9.13
10	14.58
20	38.91

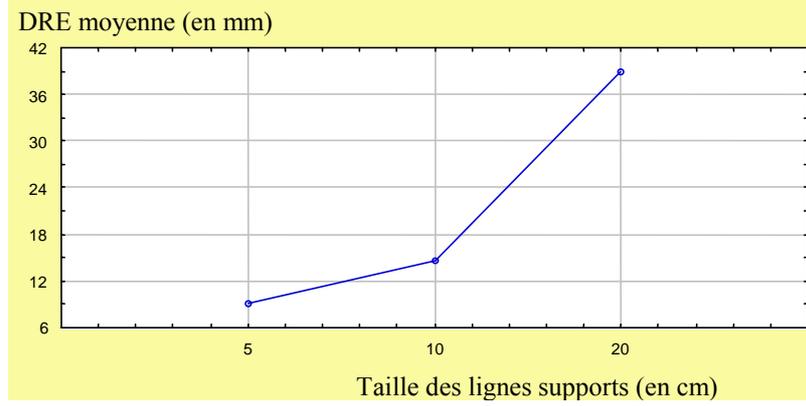


Figure 6 : DRE moyenne sur chaque ligne support : apparition d'un effet de taille des lignes supports.

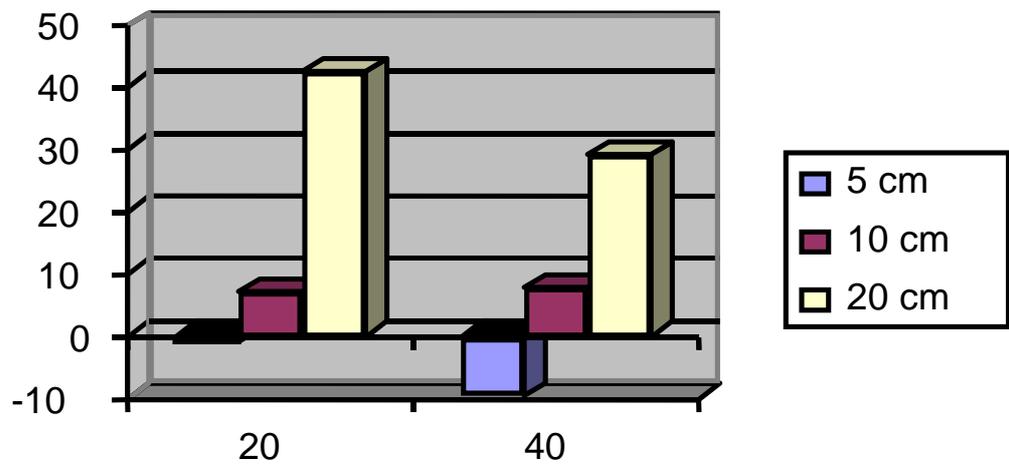


Figure 7 : Empan d'erreurs (DRE) en fonction des valeurs à placer (20 et 40 mm) et taille des lignes support (5, 10 et 20 cm).

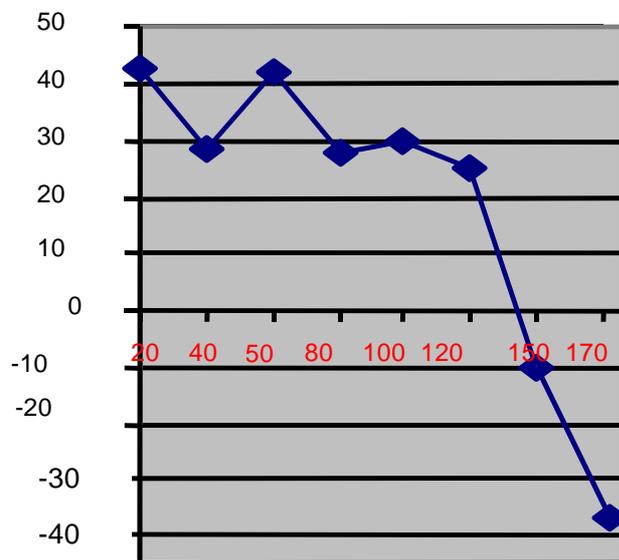


Figure 8 : Empan d'erreurs (DRE) en fonction de la valeur à placer (20, 40, 50, 80, 100, 120, 150, 170 mm) sur la ligne support de 20 cm.

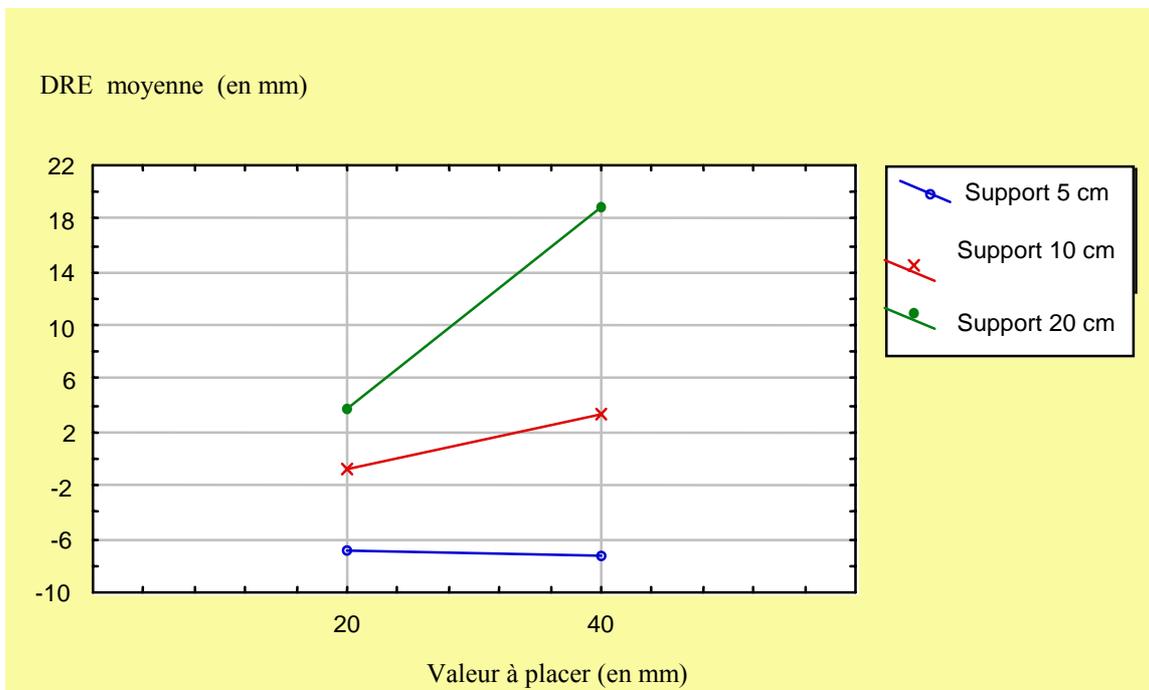
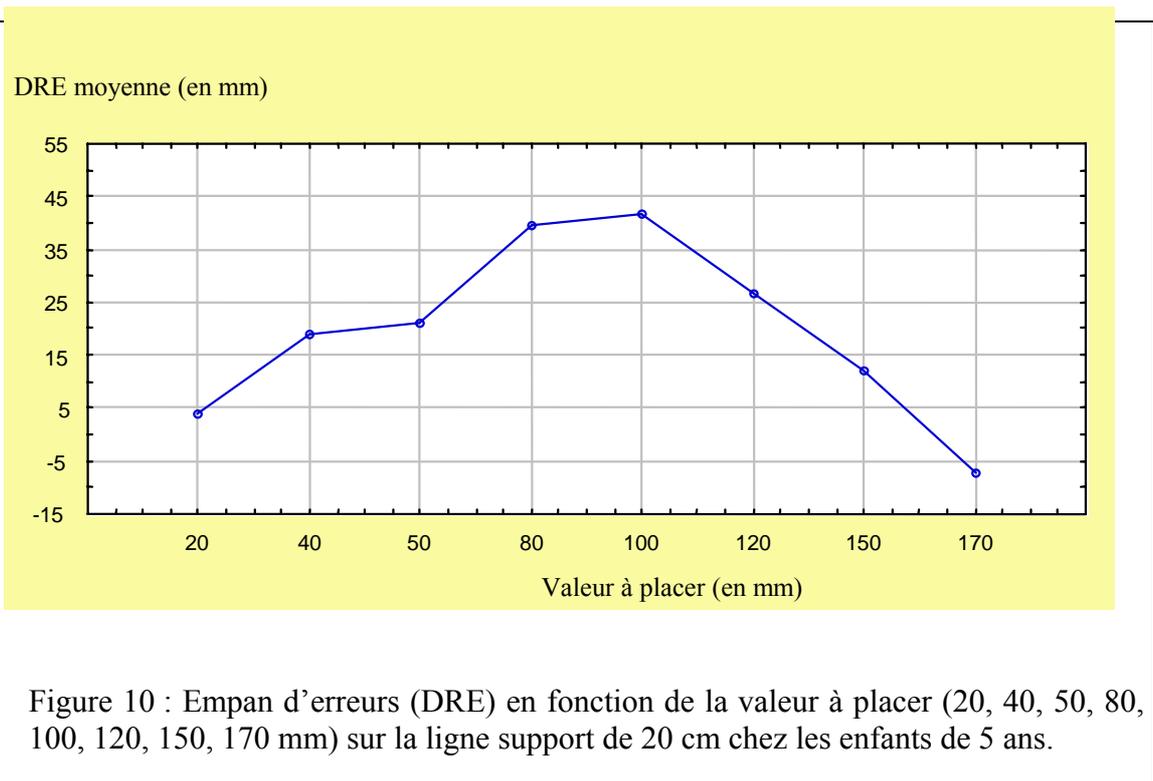


Figure 9 : DRE moyenne pour le placement de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5, 10 et 20 cm.



## TABLES DES ILLUSTRATIONS

### Schémas

**Schéma 1** : Représentation schématique du modèle du triple code (Dehaene, 1992)

**Schéma 2 a** : Détection d'aires et de contours (Vos, Van Oeffelen, Tibosh & Allik, 1988)

**Schéma 2 b**: Zone d'occupation (Allik & Tuulmets, 1991)

### Tableaux

**Tableau 1** : Corrélation entre l'âge et le niveau de comptage chez les enfants de 4 et 5 ans.

**Tableau 2** : Corrélations entre les variables âge et comptage et les DRE moyennes de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm.

**Tableau 3** : Influence des variables âge et comptage pour les placements des valeurs 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne support de 10 cm.

**Tableau 4** : Influence des variables âge et comptage pour les placements des valeurs 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm.

**Tableau 5** : Influence des variables âge, comptage, performance sur la ligne support 5 cm, performance sur la ligne support 10 cm sur la performance sur la ligne support de 20 cm.

**Tableau 6** : Comparaison de l'influence des variables réussite au placement sur 10 cm et comptage dans la précision sur la ligne support de 20 cm.

**Tableau 7** : Significativité des caractéristiques des groupes 1 et 2.

**Tableau 8** : Effet isolé du comptage sur la réussite aux placements sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.

**Tableau 9** : Evolution des DRE pour le placement de 20 et 40 mm en fonction de la taille des lignes supports.

**Tableau 10** : Evolution des DRE pour le placement de 20, 40, 50 et 80 mm en fonction de la taille des lignes supports 10 et 20 cm.

## Figures

**Figure 1** : DRE moyennes pour le placement des valeurs 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne support de 10 cm.

**Figure 2** : DRE moyennes pour le placement des valeurs 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm.

**Figure 3** : Interaction entre l'effet de taille de la ligne support et l'effet de distance.

**Figure 4** : DRE moyennes sur les lignes supports 10 et 20 cm pour le placement de 20, 40, 50 et 80 mm.

**Figure 5** : Interaction entre l'effet de taille de la ligne support et l'effet de distance.

**Figure 6** : DRE moyenne sur chaque ligne support : apparition d'un effet de taille des lignes supports.

**Figure 7** : Empan d'erreurs (DRE) en fonction des valeurs à placer (20 et 40 mm) et de la taille des lignes support (5, 10 et 20 cm).

**Figure 8** : Empan d'erreurs (DRE) en fonction de la valeur à placer (20, 40, 50, 80, 100, 120, 150, 170 mm) sur la ligne support de 20 cm.

**Figure 9** : DRE moyenne pour le placement de 20 et 40 mm sur le support de 5, 10 et 20 cm.

**Figure 10** : Empan d'erreurs (DRE) en fonction de la valeur à placer (20, 40, 50, 80, 100, 120, 150, 170 mm) sur la ligne support de 20 cm chez les enfants de 5 ans.

<b>REMERCIEMENTS.</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>PARTIE THEORIQUE</b> .....	<b>4</b>
I. Code arabe .....	5
A. Définition .....	5
B. Caractéristiques .....	5
II. Code analogique .....	5
A. Définition .....	5
B. Caractéristiques de la ligne numérique mentale.....	6
1. Effets de distance et de taille.....	6
2. Effet SNARC .....	6
C. Chez les animaux et les bébés .....	7
D. Chez les enfants.....	7
E. Chez les adultes .....	8
F. Utilisation.....	9
1. Subitizing .....	9
➤ Modèles théoriques chez l'enfant.....	9
● Modèles numériques analogiques chez l'enfant .....	9
● Explications de nature non numérique chez l'enfant .....	10
● Conclusion .....	11
➤ Développement du subitizing.....	11
2. Estimation globale.....	12
➤ Modèles explicatifs de l'estimation .....	12
● Perception de la forme (Frith & Frith, 1972) (schéma 2 a).....	12
● Détection d'aires et de contours (Van Oeffelen & Vos, 1982) et Vos, Van Oeffelen, Tibosh & Allik, 1988) (schéma 2 b).....	12
➤ Données empiriques .....	13
● Chez l'adulte .....	13
● Chez l'enfant .....	14
III. Code verbal .....	14
A. Définition .....	14
B. Caractéristiques de la représentation verbale .....	15
C. Utilisation .....	16
La procédure de quantification activant le pôle verbal, symbolique, du modèle est le dénombrement.....	16
1. Dénombrement.....	16
➤ Modèles théoriques .....	16
● La théorie des « principes en premier » (Gelman & Gallistel, 1978) .	16
● La théorie des « principes après » (Briars & Siegler, 1984 ; Fuson, 1988) .....	16
➤ Développement des capacités de dénombrement.....	16
● Acquisition de la chaîne numérique.....	17
● Pointage séquentiel des objets.....	17
● Coordination de l'énonciation et du pointage .....	17
IV. Liens entre les codes .....	18
V. Développement des relations entre les représentations pré verbale et verbale .....	18
<b>PRESENTATION DES HYPOTHESES</b> .....	<b>20</b>
Problématique .....	21
Hypothèses .....	22
<b>PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION</b> .....	<b>23</b>

I. Procédure .....	24
A. Pré-test.....	24
B. Protocole.....	25
1. Groupe d'épreuves testant la ligne numérique mentale .....	25
➤ Placement d'une cible : évaluation globale.....	25
➤ Comparaison d'éléments discrets.....	26
2. Groupe d'épreuves testant la chaîne numérique verbale.....	27
➤ Dénombrement de points .....	27
➤ Enonciation de la chaîne numérique verbale .....	27
II. Matériel .....	27
A. Placement d'une cible : évaluation globale.....	27
1. Pour la démonstration .....	27
2. Pour les sujets et les examinateurs.....	28
B. Comparaison d'éléments discrets .....	28
1. Pour les sujets.....	28
2. Pour les examinateurs .....	28
C. Dénombrement de points.....	28
1. Pour les sujets.....	28
2. Pour les examinateurs .....	29
D Enonciation de la chaîne numérique verbale.....	29
1 Pour les sujets.....	29
2 Pour les examinateurs .....	29
III. Populations.....	29
A. Population principale .....	29
1. Enfants de 4 ans .....	30
2. Enfants de 5 ans .....	30
B. Etudes de cas .....	30
1. Mathis.....	30
2. Lucie.....	31
<b>PRESENTATION DES RESULTATS .....</b>	<b>32</b>
I. Présentation de l'analyse du comptage.....	33
A. Résultats de l'ensemble de notre population.....	33
1. Corrélation entre l'âge et le niveau de comptage.....	34
2. Evaluation du placement des distances 20 et 40 mm sur la ligne-support de 5 cm.....	34
3. Evaluation du placement des distances 20, 40, 50 et 80 mm sur la ligne-support de 10 cm .....	34
4. Evaluation du placement des distances 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne-support de 20 cm.....	35
5. Résumé des résultats et approfondissement.....	35
B. Analyse des enfants particulièrement faibles ou forts en comptage.....	37
II. Analyses sur les caractéristiques de la ligne numérique mentale.....	38
A. Effets de distance et de taille des lignes supports .....	38
1. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.....	38
➤ Effet de taille de lignes supports .....	38
2. Analyse du placement de 20, 40, 50 et 80 mm sur les lignes supports de 10 et 20 cm.....	39
➤ Effet de taille de lignes supports .....	39
➤ Effet de distance.....	39
3. Analyse du placement de toutes les valeurs à placer sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.....	39

B. Approfondissements sur les effets de distance et de taille des lignes supports : sur estimation et sous estimation .....	39
1. Enfants de 4 ans .....	40
a. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm .....	40
➤ Effet de distance .....	40
b. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.....	41
➤ Effet de distance .....	41
➤ Effet de taille de la ligne support .....	41
c. Analyse du placement de 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm .....	41
➤ Effet de distance .....	41
2. Enfants de 5 ans .....	42
a. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur la ligne support de 5 cm .....	42
➤ Effet de distance .....	42
b. Analyse du placement de 20 et 40 mm sur les lignes supports de 5, 10 et 20 cm.....	42
➤ Effet de taille des lignes supports.....	42
➤ Effet de distance .....	42
c. Analyse du placement de 20, 40, 50, 80, 100, 120, 150 et 170 mm sur la ligne support de 20 cm .....	43
➤ Effet de distance .....	43
B. Présentation des études de cas.....	43
1. Etude de cas : Mathis, né le 17.03.01.....	43
➤ Démonstration .....	43
➤ Estimation globale.....	43
➤ Comptage .....	44
➤ Comparaison .....	45
➤ Dénombrement.....	45
2 Etude de cas : Lucie, née le 14.03.2002.....	45
➤ Démonstration .....	45
➤ Estimation globale.....	45
➤ Comptage .....	46
➤ Comparaison .....	46
➤ Dénombrement.....	46

## **DISCUSSION ..... 47**

I. Discussion sur l'analyse du comptage.....	48
A. Discussion des résultats de l'ensemble de notre population .....	48
1. Corrélation âge / comptage .....	49
2. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 5 cm.....	50
3. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 10 cm.....	50
4. Prédiction du comptage pour les valeurs de la ligne support 20 cm.....	50
B. Discussion des résultats des enfants particulièrement faibles ou forts en comptage .....	52
II. Discussion sur les caractéristiques de la ligne numérique mentale.....	52
A. Généralités sur les effets de distance et de taille des ligne supports.....	52
B. Evolution détaillée de l'effet de distance .....	53
1. Enfants de 4 ans : Effet de distance .....	53
2. Enfants de 5 ans : Effet de distance .....	53
C. Evolution de l'effet de taille de la ligne support .....	54
1. Enfants de 4 ans : Effet de taille de la ligne support.....	54
2. Enfants de 5 ans : Effet de taille de la ligne support.....	54

III. Critiques de notre étude .....	54
IV. Etudes de cas.....	56
A. Mathis.....	56
B. Lucie.....	57
V. Questions soulevées .....	57
VI. Ouvertures.....	57
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>61</b>

**Annexe 1** : 1<sup>ère</sup> page du livret de passation

**Annexe 2** : Dernière page du livret de passation

**Annexe 3** : Lignes supports de 5, 10 et 20 cm.

**Annexe 4** : Extrait de l'épreuve de comparaison d'éléments discrets

**Annexe 5** : Extrait de l'épreuve de dénombrement

**Annexe 6a** : Dénombrement : tableau récapitulatif enfants de 4 ans

**Annexe 6b** : Dénombrement : tableau récapitulatif enfants de 5 ans

**Annexe 7** : Tableau enfants de 4 ans évaluation globale et comptage

**Annexe 8** : Tableau enfants de 5 ans évaluation globale et comptage

Julie Grosfilley

Stéphanie Lacaze

## **COMPTAGE ET EVALUATION DES LONGUEURS : Etude chez des enfants tout venant de 4 et 5 ans.**

60 Pages

Mémoire d'orthophonie -UCBL-ISTR- Lyon 2007

---

### **RESUME**

---

Le modèle du triple code de Dehaene (1992) postule trois formats de représentations du nombre : le code arabe, le code verbal, et le code analogique. Ce dernier est modélisé sous la forme d'une ligne numérique mentale, présente chez l'enfant avant l'acquisition du langage.

Nous nous interrogeons sur l'influence de la représentation verbale sur la représentation analogique, chez l'enfant en cours d'acquisition du système symbolique langagier. Nous avons donc proposé notre protocole à des enfants de 4 et 5 ans.

Il évalue d'une part le code verbal à travers des épreuves de comptage et de dénombrement, et d'autre part la ligne numérique mentale à travers des épreuves d'estimation globale des longueurs et de comparaison d'éléments discrets.

Notre hypothèse principale est que la précision de la représentation analogique est associée à la maîtrise de la chaîne numérique verbale. Nous souhaitons également mettre en évidence les effets de distance et de taille, caractéristiques de la ligne numérique mentale.

Les résultats obtenus montrent que le niveau de comptage est prédictif de la précision à l'épreuve d'évaluation des longueurs, pour certaines valeurs. Mais d'autres facteurs interviennent également. De plus, les effets de distance et de taille des lignes supports apparaissent clairement, tout comme un effet des bornes extrêmes que nous n'avions pas anticipé.

Cette étude participe à la recherche sur la ligne numérique mentale et permet de préciser l'influence du comptage sur son développement.

---

### **MOTS-CLES**

---

Nombre – Chaîne numérique verbale – Ligne numérique mentale – Traitement des longueurs – Etude développementale

---

### **MEMBRES DU JURY**

---

Anne-Laure Charlois

Corine Meric

Emmanuelle Métral

---

### **MAITRE DE MEMOIRE**

---

Michel Fayol

---

### **DATE DE SOUTENANCE**

---

Jeudi 5 juillet 2007