



HAL
open science

Évolution du traitement des petites quantités selon leur mode de représentation

Cécilia Jubin, Laurène Périllat

► **To cite this version:**

Cécilia Jubin, Laurène Périllat. Évolution du traitement des petites quantités selon leur mode de représentation. Sciences cognitives. 2020. dumas-02974784

HAL Id: dumas-02974784

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02974784>

Submitted on 22 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ACADÉMIE DE PARIS
FACULTÉ SORBONNE UNIVERSITÉ
MÉMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITÉ D'ORTHOPHONISTE

TITRE DU MÉMOIRE : Évolution du traitement des petites quantités selon leur mode de représentation.

NOM DU DIRECTEUR DE MÉMOIRE : Michel FAYOL, Professeur émérite
ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2019-2020

NOM PATRONYMIQUE : JUBIN
PRÉNOM : Cécilia

NOM PATRONYMIQUE : PÉRILLAT
PRÉNOM : Laurène

REMERCIEMENTS :

À **Michel Fayol**, directeur du mémoire, membre du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO) de l'université de Clermont-Ferrand, maître de conférences, professeur émérite en psychologie du développement spécialisé dans l'acquisition de l'écrit et des compétences numériques chez l'enfant, pour avoir accepté de nous encadrer, de nous guider et pour avoir été d'une aide précieuse durant l'avancée de ce projet, une source d'informations et de conseils, toujours dans la bienveillance.

À **Mickaël Berthon**, développeur d'applications pour le CNRS au LAPSCO et co-directeur de la cellule de valorisation de la recherche CATech, pour avoir élaboré un programme de test primordial à la réalisation de notre recherche.

À l'école **maternelle** Plaine Grands Champs, ainsi qu'à l'école **primaire** de la Plaine, situées dans le 20ème arrondissement de Paris, pour avoir accepté de nous recevoir afin que nous procédions aux passations et que nous assurions un suivi des enfants, tout cela dans une ambiance idéale.

Aux **adultes** et aux **enfants** ayant participé avec grande application à notre étude, ainsi qu'**aux familles** des enfants pour avoir accepté qu'on les y intègre.

ATTESTATIONS DE NON-PLAGIAT :

Je soussigné(e) **Laurène PERILLAT** déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :

Je soussigné(e) **Cécilia JUBIN** déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :

Titre : Évolution du traitement des petites quantités selon leur mode de représentation chez l'enfant.

Résumé :

Plusieurs chercheurs ont postulé que le recours aux doigts était spontanément et précocement mobilisé par les enfants. Les études empiriques menées dans plusieurs cultures et à des âges divers ont conduit à douter de cette conception. Ces dernières montrent qu'il s'agit plutôt d'un outil utile sur lequel s'appuyer mais non indispensable. Cependant, les arguments focalisés sur cette question manquent. Cette étude se veut une contribution à déterminer si les performances relevées avec l'usage des doigts sont effectivement précoces et efficaces dans des tâches numériques. Pour cela, nous avons testé les performances d'adultes (N= 16) et d'enfants de grande section de maternelle (GSM) (N=23) lors d'une tâche simple de comparaison de petites quantités (de 1 à 5) présentées sous trois formats différents : chiffres arabes, configurations canoniques de doigts et configurations canoniques de dés. Pour cette étude longitudinale, les enfants ont été vus trois fois entre la GSM et le cours préparatoire (CP) afin de déterminer s'il existe une évolution. Les résultats montrent que les enfants traitent plus rapidement les dés et les doigts, à l'inverse des adultes qui traitent plus rapidement les dés et les chiffres. Cependant, ils rejoignent un patron de performances proche de celui des adultes au cours du CP. Pour tous, les performances sont meilleures lorsque les items sont séparés par une distance importante. Cela soutient que chez les enfants d'âge préscolaire, les traitements analogiques (dés) sont plus précoces que les traitements symboliques (chiffres) et que les doigts jouent un rôle transitoire mi-analogique, mi-symbolique entre ces représentations.

Mots-clés : cognition numérique, doigts, arithmétique, symbole numérique, développement numérique

Abstract :

Some early studies have shown that children spontaneously use their fingers at early stages in their development. More recent studies conducted in different cultures and at various stages of children's development, have proved that finger-counting is a useful tool but not a necessary step to numerical development. Today, however, there has still not been enough specific testing on these findings. This research aims to determine whether finger-counting related performances are in fact precocious and helpful during numerical tasks. Therefore, preschoolers (N=23) and adults (N=16) completed small quantities (1-5) comparison tasks, in three different modalities: finger configurations, Arabic numerals and dice. To comprehend the evolution that might occur between preschool and first grade, children's comparisons skills were assessed three times: in the middle of their last year of preschool, at the end of the school year and 3 months into first grade. Results show that in preschool, children perform best during the dice and finger configurations comparison tasks whereas the adults perform best during dice and Arabic numerals comparison tasks. However during first grade, the children's performance pattern evolved to one close to the adults'. For each comparison task, the subjects performed better when the distance between the two quantities was bigger. These results support the hypothesis that finger counting configurations precedes symbolic representation and can be considered as a transitional modality of quantity representation between analogical representations and symbolic representations.

Keywords : numerical cognition, fingers, arithmetic, numerical symbol, numerical development

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Moyennes des temps de réponse (en ms) du groupe adulte... ..	6
Tableau 2. Nombre d'erreurs à l'épreuve de comparaisons dans le groupe expérimental	7
Figure 1a. Graphique des interactions des distances selon la période.	10
Figure 1b. Graphique des interactions des modalités selon la période.	10
Tableau 3. Nombre d'erreurs du groupe contrôle à T3.	11
Figure 2. Graphique d'interaction des modalités selon le groupe.	12

LISTE DES ABRÉVIATIONS

H	Hypothèse
NDE	Numerical Distance Effect
GC	Groupe Contrôle
TR	Temps de Réponse
CP	Cours Préparatoire
GSM	Grande Section de Maternelle
SD	Standard Deviation

INTRODUCTION

L'une des questions essentielles relative à l'acquisition du nombre, et notamment de la cardinalité, revient à déterminer comment s'effectue le passage d'une capacité précoce de discrimination perceptive relativement précise de collections de très petites quantités (de un à trois) ou de comparaison approximative de collections de grandes quantités à une capacité de comparaison symbolique précise de deux quantités quelle que soit leur taille et la distance qui les sépare. Une possibilité serait qu'entre le traitement approximatif pré-verbal non symbolique et le traitement verbal précis (du cardinal) s'intercale pour des quantités supérieures à un et deux (voire trois) mais allant jusqu'à cinq (voire au-delà) un traitement pré-verbal précis portant sur des codes analogiques, telles les configurations de points (e.g. dés) ou de doigts qui sont à la fois analogiques (elles conservent certaines propriétés perceptives) et conventionnelles, ce qui les rapproche des codes. Le traitement de tels codes assurerait une transition entre les traitements analogiques initiaux et les traitements symboliques verbaux ou indo-arabes dans lesquels les quantités sont évoquées mais non directement perceptibles (Di Luca et Pesenti, 2011 ; Fayol et Seron, 2005). Une telle hypothèse prédit que (H1) chez les enfants de niveau préscolaire, pour les quantités allant de 1 à 5, les traitements analogiques sont plus précoces que les traitements symboliques. La reconnaissance et la comparaison des petites quantités sous format analogique conventionnel (jetons, points, etc.) précéderait leur comparaison sous format de chiffres arabes (Benoît, Lehalle et Jouen, 2004 ; Benoît, Lehalle, Molina, Tijus et Jouen, 2013 ; Gray et Reeve, 2014 ; Jansen *et al.*, 2014 ; Odic, Le Corre et Harlberda, 2015). En conséquence, les comparaisons de petites quantités (de 1 à 5) devraient être plus rapides et précises lorsque ces dernières sont sous un format de faces de dés ou de configurations conventionnelles de doigts que lorsque les symboles arabes correspondants sont utilisés. Chez les adultes, au contraire (H2), les traitements des représentations symboliques (i.e. chiffres arabes) devraient être plus rapides et précis que ceux réalisés sur les représentations analogiques, même conventionnelles (Buckley et Gillman, 1974). Enfin, les apprentissages réalisés à l'école élémentaire devraient se traduire (H3) par le passage à un patron de performances proche de celui des adultes après quelques mois de scolarisation au CP (Hawes, Nosworthy, Archibald et Ansari, 2019 tableau 3 ; Nosworthy, Bugden, Archibald, Evans et Ansari, 2013). Enfin, pour que les résultats obtenus autorisent la même interprétation des patrons chez les adultes et les enfants, il est nécessaire de vérifier que les comparaisons des configurations de dés, de doigts et de chiffres arabes présentent les mêmes caractéristiques (H4). Par exemple, l'effet de distance (NDE), considéré comme un

marqueur de la représentation sémantique des quantités (Rubinsten, Henik, Berger et Shahar-Shaley, 2002 ; Sekuler et Mierkiewicz, 1977 ; Verguts et Van Opstal, 2005) devrait y apparaître sous les trois formats et à tous les âges. Ce serait un argument en faveur d'une conception selon laquelle une représentation mentale intégrée est mobilisée quelles que soient les modalités de représentations externes : chiffres, dés, doigts.

MÉTHODE

Participants

L'étude a porté sur 3 groupes. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée. Le premier groupe est constitué de 16 adultes français (10 femmes et 6 hommes) dont l'âge moyen est de 30 ans (étendue 21-58, écart-type = 12,66). 9 sont étudiants, 3 cadres, 2 entrepreneurs, 1 professeur des écoles et 1 commercial. Globalement, tous sont de haut niveau socio-culturel.

Un second groupe expérimental de 23 enfants (13 filles et 10 garçons dont 18 droitiers et 5 gauchers) a également participé à cette étude longitudinale. Trois passations se sont déroulées sur deux années scolaires dans une école maternelle (grande section de maternelle) puis primaire (cours préparatoire) ordinaire du 20^{ème} arrondissement de Paris. L'âge initial au début des passations était en moyenne de 67 mois (étendue 61 à 72 mois ; écart-type = 4). Lors des dernières passations, ces mêmes enfants avaient entre 70 et 81 mois (moyenne = 76 mois). Ce groupe expérimental était initialement composé de 27 enfants ; cependant, 4 sont sortis de l'étude pour cause de déménagement ou de changement d'école entre la grande section de maternelle et le cours préparatoire.

Le dernier groupe inclus dans l'étude est un groupe contrôle composé de 23 enfants (12 filles et 11 garçons dont 19 droitiers et 4 gauchers) âgés de 70 à 86 mois (moyenne = 76 mois, écart-type = 3,88) également scolarisés à l'école primaire du 20^{ème} arrondissement de Paris.

Le recrutement de ces participants s'est basé sur certains critères d'inclusion et d'exclusion : les enfants du groupe expérimental devaient être scolarisés en grande section de maternelle au commencement de l'étude et aucun d'entre eux ne devait présenter de déficience intellectuelle ou de déficit visuel non corrigé. Des entretiens avec les enseignants en amont de l'étude ont révélé que les enfants n'avaient ni troubles cognitifs, ni handicap moteur. Le port des lunettes et la latéralité (pied et main) des enfants ont été relevés.

Cette étude a été réalisée avec le consentement écrit des participants ou de leur représentant légal et approuvée par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

Matériel

Pour procéder à l'évaluation du traitement des modalités de représentation du nombre, nous avons fait passer un test informatisé, conçu grâce au logiciel E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA) sur des ordinateurs ayant comme système d'exploitation Windows 10. Ce test, élaboré par Mickaël Berthon, ingénieur au laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO CNRS UMR 6024) de Clermont Ferrand, comporte quatre parties : dénomination (comportant 15 items), exemples (4 items), comparaisons homogènes (60 items), comparaisons hétérogènes (120 items), ces dernières n'étant pas rapportées. Chacune de ces parties utilise 3 types de stimuli : collection de points ; configurations de doigts et chiffres arabes dont les tailles varient de un à cinq, qui apparaissent sur un fond blanc. Les points sont présentés sous une configuration de type dés et les doigts sous une configuration canonique. Ces stimuli sont affichés dans des carrés de 9,5 cm de côté. Entre chaque partie un écran annonçant la partie suivante s'affiche, pendant lequel une pause peut être faite afin d'expliquer la tâche qui suit, de répondre aux questions du participant, ou de lui permettre un instant de répit. Entre chaque item, une petite croix de fixation apparaît au centre de l'écran pendant 50 ms, permettant de recentrer le regard. Les situations sont donc présentées sur un écran d'ordinateur et les participants, placés à environ 60 cm de l'écran, sont invités à répondre oralement pour la première tâche (dénomination), puis en utilisant le clavier pour les tâches suivantes, et plus précisément les touches « d » et « k » pour sélectionner lequel des deux éléments de la paire présentée est le plus grand (voir plus loin). Ce test étant proposé à des enfants âgés entre 5 et 6 ans qui ne sont pas tous familiarisés avec les ordinateurs, un cache a été utilisé afin que seules ces 2 touches soient visibles, permettant de faciliter la manipulation du clavier et d'éviter toute perte du temps.

Procédure

L'expérience s'est, dans un premier temps, déroulée avec les adultes, pour mettre en évidence l'hypothèse H2. Ces passations se sont faites dans des lieux neutres et calmes, pour que les enfants ne soient pas exposés à des sources de distraction qui fausseraient les résultats.

Nous avons obtenu l'accord d'une école maternelle et nous sommes déplacées dans cette école à deux reprises (en février puis juin 2019), puis une nouvelle fois, à la rentrée

suivante, dans l'école primaire du même secteur, où les enfants poursuivent leur scolarité, afin de poursuivre notre étude longitudinale. Ainsi, nous avons vu les enfants du groupe expérimental trois fois sur une période de 10 mois, entre la grande section de maternelle et le cours préparatoire : une première fois en février 2019, une deuxième fois fin juin 2019 et une troisième fois en novembre 2019 (en classe de CP). Les données de la session de juin ne portaient que sur une partie des mesures et ne seront pas rapportées ici.

Au cours de notre troisième déplacement, nous avons également réalisé des passations auprès d'enfants (n=23) que nous n'avions pas rencontrés en grande section, qui correspondent donc au groupe contrôle (GC).

Lors des trois sessions, le déroulement est le même. À notre arrivée, nous installons le matériel : nous allumons l'ordinateur et lançons le logiciel. Ensuite, les enfants, répertoriés sous un numéro d'anonymat, sont testés individuellement. Afin d'assurer des conditions optimales, ils sont isolés, au calme, dans une salle vacante à côté de leur classe. Les enfants sont installés à un bureau devant l'ordinateur, à 60 cm de l'écran. Nous sommes installées à leur gauche. Tous reçoivent les mêmes instructions. Avant de commencer le test, nous leur faisons écrire leur prénom pour relever la latéralité. Une fois assurées de leur compréhension des consignes, nous démarrons la passation. L'ensemble de la passation est réalisé en environ 15 à 20 minutes.

Dans une première partie, il s'agit de vérifier que les participants connaissent les stimuli qui leur seront présentés : chiffres de 1 à 5 ; configurations canoniques de doigts (de un à cinq) et configurations canoniques de dés (de un à cinq) (annexe A). Cette question est triviale pour les adultes. Elle l'est moins pour les enfants. Chaque participant se voit présenter tous les stimuli et doit les dénommer un à un. Les erreurs sont corrigées. Le temps de dénomination n'est pas mesuré.

La deuxième partie vise à familiariser les participants avec la tâche de comparaison. Des paires de stimuli comportant des nombres différents d'entités (e.g. fruits, animaux, etc) sont affichées simultanément sur l'écran de l'ordinateur (annexe B). Le participant doit indiquer en appuyant avec son majeur gauche ou son majeur droit sur l'une des touches du clavier (d pour gauche versus k pour droite) dans quelle position (droite vs gauche) se situe la plus grande des deux quantités. 4 items sont comparés.

La troisième partie vise à évaluer les performances des participants à des comparaisons de quantités présentées sous des modalités homogènes : chiffres seuls ; doigts seuls ; dés seuls. Deux images comportant systématiquement des paires de quantités différentes allant de un à cinq (e.g. de doigts) sont présentées simultanément sur l'écran (cf annexe C) ; le participant doit sélectionner l'image qui représente la plus grande quantité en

appuyant avec le majeur gauche sur la touche « d » (à gauche) ou avec le majeur droit sur la touche « k » (à droite) selon l'emplacement de la quantité la plus grande. L'ordre des paires et la position de présentation de la plus grande des quantités (droite vs gauche) sont aléatorisés. Chaque modalité donne lieu à 20 présentations. Les temps et l'exactitude des réponses sont enregistrés.

La quatrième partie comporte 120 paires d'items dans lesquelles deux quantités différentes et hétérogènes (chiffres et doigts ; chiffres et dés ; dés et doigts) sont présentées simultanément (annexe D). De nouveau, le participant doit désigner la plus grande quantité en appuyant comme précédemment sur les touches « d » ou « k ». L'ordre des paires et la position de présentation de la plus grande des quantités (droite vs gauche) sont aléatorisés. Chaque modalité donne lieu à 20 présentations. Les temps et l'exactitude des réponses sont enregistrés.

Il s'agit donc de mesurer l'exactitude des réponses et la vitesse de comparaison des quantités sous les différents modes de représentation selon les conditions homogènes et hétérogènes.

Chez l'adulte, la partie entraînement et la partie test se sont effectuées en une seule session de passation. Alors que chez les enfants, la passation a été réalisée en deux temps en raison de la fatigabilité observée dans une première session. Un enfant est donc vu une première fois pour les trois premières parties du test (dénomination, exemples, comparaisons homogènes) puis revu plus tard pour la quatrième partie (comparaisons hétérogènes).

Pour des raisons liées aux temps dont nous avons disposé, seules les données relatives aux comparaisons homogènes seront rapportées. Celles concernant les comparaisons hétérogènes donneront lieu à une exploitation ultérieure.

RÉSULTATS

1. Adultes

Les données analysées sont les temps de réponses. L'exactitude des réponses étant presque parfaite, elle n'a pas fait l'objet d'une analyse statistique. Pour chaque mode de représentation (dé, doigt et chiffre), chaque sujet a répondu à 20 items. Sur l'ensemble des réponses collectées des 16 sujets, 9 erreurs ont été relevées aux comparaisons de doigts, 2 erreurs aux comparaisons de dés et 2 erreurs aux comparaisons de chiffres.

Les analyses ont porté sur les effets de distance : 1, 2, 3 et 4. Nous avons calculé les différences de temps de réponse (TR) pour les comparaisons 1-2 et 2-1, 1-3 et 3-1, 1-4 et 4-

1, 1-5 et 5-1 puis 2-3 et 3-2, 2-4 et 4-2, 2-5 et 5-2, 3-4 et 4-3, 3-5 et 5-3, 4-5. Une première analyse a montré que les TR ne variaient pas d'une paire à son inverse (e.g. 2-3 et 3-2), aussi avons-nous rapporté et traité les moyennes des paires indépendamment de leur ordre de présentation. Nous avons ensuite regroupé toutes les données relatives à la même distance (e.g. pour la distance 1 : 1-2, 2-3, 3-4 et 4-5 ; pour la distance 2 : 1-3, 2-4, 3-5 et ainsi de suite). Une analyse de variance à deux facteurs a été conduite : les distances (1, 2, 3 et 4 regroupées) x les modalités (chiffres, dés, doigts). Les résultats rapportés le sont condition par condition (tableau 1).

Modalities	Distances			Means	SD
	1	2	3+4		
Finger-finger	981,5 (SD = 442,1)	908,3 (SD = 372,8)	876,3 (SD = 435,5)	928	420,3
Number-number	640,6 (SD = 228,8)	621,9 (SD = 374,9)	571 (SD = 215,9)	611,2	277,4
Dice-dice	697,8 (SD = 372,9)	562,8 (SD = 188,2)	530,9 (SD = 161,2)	607,3	280,9
Means	773,3	697,7	659,4		
SD	387,2	355,5	331,8		

Tableau 1 : Moyennes des temps de réponse (en ms) du groupe adulte

L'effet de la modalité est significatif, $F(2,26) = 15,003$, $p < .001$, $\eta^2 = 0,536$: les comparaisons de dés (547 msec) sont plus rapides que celles de chiffres (569 msec) mais ne diffèrent pas significativement entre elles ($t = 0,374$ $p = 0,712$) et les comparaisons de configurations de doigts sont les plus lentes (841 msec) et diffèrent significativement de celles des dés et des chiffres (respectivement $t = 4,92$ et $t = 4,546$ toutes deux $p < .001$).

L'effet de distance est significatif. Les temps de réponse diminuent en fonction de la distance, $F(3, 39) = 10,014$ $p < .001$ $\eta^2 = 0,435$. Il n'interagit pas avec la modalité ($F < 1$). La tendance linéaire est seule significative, $t = -5,40$ $p < .001$ (pas de tendance quadratique ni cubique). Elle est attestée avec les dés ($t = -4,573$ $p < .001$), les chiffres ($t = -2,382$ $p = 0,022$) et tendancielle avec les doigts ($t = -1,942$ $p = 0,59$).

Ces résultats montrent que chez les adultes, les comparaisons de dés donnent lieu aux réponses les plus rapides. Les performances aux comparaisons de chiffres sont sensiblement similaires bien que légèrement plus lentes. Cependant les comparaisons de doigts sont significativement plus lentes.

En revanche, l'existence d'une diminution linéaire des temps de réponse en fonction des distances sous les trois modalités est en faveur d'un mécanisme unique

renvoyant à une représentation intégrée de la magnitude commune à toutes les modalités de représentation externe.

2. Enfants

Les analyses ont porté sur l'effet de distance et de modalité, comme chez les adultes. Les erreurs, n'ayant pas été suffisamment nombreuses (tableau 2), n'ont pas fait l'objet d'un traitement statistique.

	T1 <i>27 sujets</i>	T3 <i>23 sujets</i>
Doigt	7 (1,3%)	20 (4,3%)
Chiffre	30 (5,5%)	12 (2,6%)
Dé	7 (1,3%)	7 (1,5%)

Tableau 2 : nombre d'erreurs à l'épreuve de comparaisons dans le groupe expérimental

On peut tout de même déceler une tendance : le taux d'erreur en T1 est supérieur dans les comparaisons de chiffres. Puis en T3, les erreurs aux comparaisons de chiffres baissent alors que celles des comparaisons de doigts augmentent. Les erreurs aux comparaisons de dés quant à elles, restent stables.

Nous avons vérifié par des analyses de variance que les performances des élèves gauchers ne diffèrent pas de celles des enfants droitiers quant aux patrons de réussite, même si les gauchers sont plus rapides (1668 ms en moyenne dans le groupe contrôle) que les droitiers (en moyenne 1761 ms pour le groupe contrôle).

Pour l'analyse des données de chaque groupe, nous avons mené une analyse de variance à deux facteurs, la distance et la modalité, grâce au logiciel de statistique JMP (SAS). Cette analyse a été menée avec les données de T1 puis avec les données de T3. Pour que le nombre d'items dans chaque groupe de distances soit plus équilibré, les items des distances 3 et 4 (1-4, 2-5, 1-5) ont été regroupés.

Le premier groupe d'enfants (groupe expérimental) a été évalué 3 fois : en février (T1), alors qu'ils étaient en GSM, en juin (T2), puis en novembre (T3) lors de leur passage en CP. L'épreuve des comparaisons homogènes n'a été proposée qu'en T1 et T3. Elle ne peut donc pas être rapportée.

Le deuxième groupe d'enfants (groupe contrôle, 23 sujets), dont l'analyse des résultats a pour but de mettre en évidence un éventuel biais d'entraînement, a été testé uniquement en CP, à T3. Le tableau des résultats se trouve en annexe (annexe E).

En T1, l'effet de modalité est significatif : $F(2,807) = 4,607$, $p=0,0102$; $\eta^2 = 0,0113$: les comparaisons de dés (1875,4 msec) sont plus rapides que celles des doigts (1966 sec) mais ne diffèrent pas significativement entre elles ($t= 0,78$; $p = 0,44$). Les comparaisons de chiffres sont les plus lentes (2218,1 msec) et diffèrent significativement de celles des dés et des doigts ($t=-2,93$ et $t=-2,15$ respectivement ; toutes les deux $p<0,001$).

L'effet de distance n'est que tendanciel en T1 (fig. 1a) : $F(2,807) = 2,485$; $p=0,084$; $\eta^2 = 0,0061$. Cependant, plus la distance est grande, plus les temps de réponse diminuent. Par ailleurs, l'effet de distance n'interagit pas avec la modalité, ce qui suggère qu'il est le même pour chaque modalité.

Ces résultats mettent en évidence que les temps de réponse aux comparaisons de chiffres sont significativement plus lents que ceux des doigts et des dés, qui ne diffèrent pas. Ainsi, pour représenter les quantités, les configurations de doigts et de dés seraient plus efficaces que les chiffres arabes, dont les comparaisons donnent lieu à plus d'erreurs (taux d'erreur à 5,5% aux chiffres, contre 1,3% aux doigts et aux dés) et surtout demandent plus de temps, sans doute parce que l'accès aux quantités qu'ils représentent n'est pas encore automatisé. Les représentations de doigts comme celles de dés seraient alors traitées plus efficacement et rapidement du fait de leur caractère analogique, évoquant plus facilement les quantités.

Bien que non significative, la diminution linéaire des temps de réponse en fonction des distances rappelle celle des adultes. Elle paraît compatible avec un mécanisme unique renvoyant à une représentation intégrée de la magnitude commune à toutes les modalités de représentation externe.

À T3, les enfants étaient au CP ; certains ont été perdus de vue, leur nombre passant de 27 à 23.

La modalité est de nouveau significative : $F(2,681) = 46,74$; $p<0,0001$; $\eta^2 = 0,11613$. Les comparaisons de doigts sont les plus lentes (1837,6 msec) et diffèrent significativement des dés ($t= 9,08$) et des chiffres ($t= 8,12$). Les temps de réponse aux comparaisons de chiffres et de dés sont significativement plus rapides ($p<0,0001$ aux deux modalités, $t = -0,96$).

L'effet de distance est significatif (fig. 1a) : $F(2,681) = 7,01$; $p=0,001$; $\eta^2 = 0,01743$. Le temps de réponse aux items dont la distance est de 1 est significativement plus élevé ($p<0,001$) qu'avec les distances 2 ($t = -2,03$) et 3-4 ($t = -3,45$). Le même patron est observé à T1 et T3 : plus la distance est grande, plus la réponse est rapide. Il n'y a pas d'interactions entre la modalité et la distance ($F(4,681) = 1,98$; $p=0,096$).

Des analyses de variance intégrant la période : 2 (T1 = février de Grande section de maternelle ; T3 = novembre de CP), les trois modalités et les trois distances mettent en évidence (ou non) l'effet de l'apprentissage des chiffres arabes en grande section de maternelle et au CP et son influence concernant le traitement des autres modalités de représentations des quantités (les dés et les doigts).

La période est significative pour les 3 modalités (fig. 1b) : $F(1,1494) = 82,66$; $p<0,0001$; $\eta^2 = 0,051$, montrant que la vitesse de réponse augmente significativement en CP, d'environ 100 msec. La maturation et/ou l'expérience acquise au cours de la scolarité permettent aux enfants de comparer plus rapidement les items.

La modalité est elle aussi significative aux périodes T1 et T3 : $F(2,1494) = 10,15$; $p<0,0001$; $\eta^2 = 0,0125$. L'interaction entre la période (T1, T3) et la modalité est significative ($p<0,0001$; $\eta^2 = 0,017$) : les comparaisons de chiffres sont significativement plus lentes en T1 qu'en T3 ($p<0,0001$). En T3, le temps de réponse est le plus lent avec les doigts (moyenne de 1837,6 ms contre 1319,9 ms pour les dés et 1374,8 ms pour les chiffres) alors qu'en T1, les mêmes enfants répondaient plus rapidement dans l'ordre aux dés (1875,4 ms), aux doigts (1966 ms) puis aux chiffres (2218,1 ms). En T1, les comparaisons de chiffres différaient significativement des 2 autres modalités (doigts $t = -2,15$ et $p=0,031$; dés $t = -2,93$ et $p=0,0035$) alors qu'en T3, c'étaient les temps de réponse aux comparaisons de doigts qui différaient significativement des deux autres modalités (chiffres $t = 8,12$; dés $t = 9,08$; tous deux $p<0,0001$) (fig. 1a).

Le temps de réponse aux chiffres s'est accéléré par comparaison avec celui des doigts qui, en T3, est la modalité traitée le plus lentement (fig. 1b). Un effet d'apprentissage est vraisemblablement à l'origine de cette interaction : l'enseignement et la pratique des chiffres arabes en CP permettent aux enfants de parvenir à un traitement plus rapide conduisant à une activation plus rapide (automatique ?) des quantités évoquées par les chiffres.

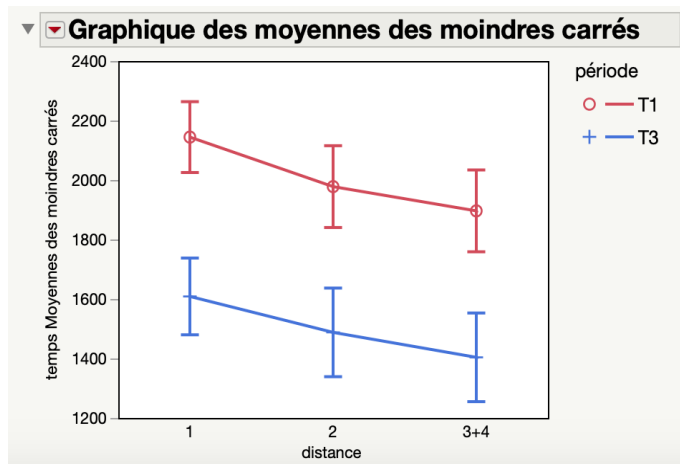


Figure 1a : graphique des interactions des distance selon la période

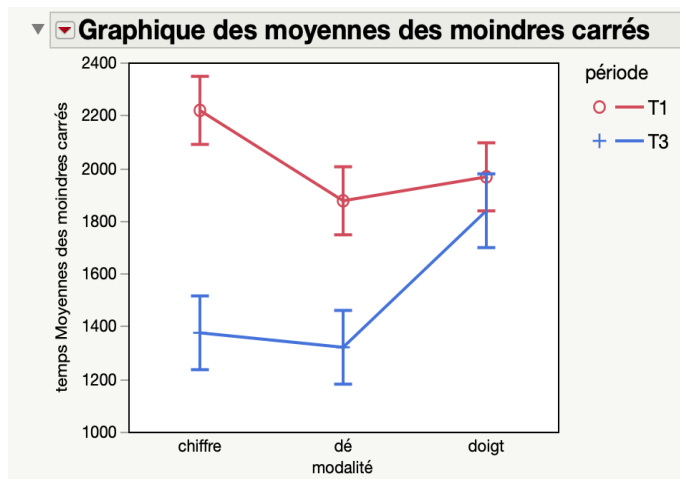


Figure 1b : graphique des interactions des modalités selon la période

Ces résultats soulèvent la question d'un éventuel biais d'entraînement. En effet, en novembre, les enfants du groupe expérimental ont passé l'épreuve pour la deuxième fois. Une familiarité avec les examinateurs, les outils et les épreuves utilisés lors de la passation pourrait éventuellement biaiser en partie les résultats obtenus. Pour contrôler ce biais, l'épreuve de comparaison a été proposée à des enfants du même âge (groupe contrôle) à T3. De nouveau, les erreurs, étant trop peu nombreuses, n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique approfondie. Mais il est toutefois possible d'observer que la modalité pour laquelle les enfants du GC ont commis le plus d'erreurs est la modalité doigt.

	Groupe contrôle <i>23 sujets</i>
Doigt	18 (3,9%)
Nombre	16 (3,5%)
Dé	8 (1,7%)

Tableau 3 : Nombre d'erreurs du groupe contrôle à T3

Une analyse de variance à trois facteurs a été effectuée, avec 2 Groupes (inter-sujets) x 3 Modalités x 3 Distances, ces deux dernières étant des VI intra-sujets. L'analyse de la variance a mis en évidence un effet de groupe : les enfants du groupe expérimental répondaient significativement plus rapidement que les enfants du GC ($F(1,1372) = 39,6$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,02459$). Les résultats de ces analyses se trouvent en annexe (annexe F).

Nous retrouvons un effet de modalité dans le groupe contrôle à T3 : $F(2,681) = 38,6$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,10002$. Les chiffres et les dés sont significativement plus rapides que les doigts (respectivement $t=6,63$ et $p=0,0043$; $t= 8,3$ et $p= <0,0001$) et ne diffèrent pas entre eux ($t = -1,66$)

On relève aussi un effet de distance ($F(2, 681) = 5,9$; $p=0,003$; $\eta^2 = 0,0152$) : le temps de réponse aux items dont la distance était de 1 est significativement plus lent ($p < 0,0001$) que celui relatif aux items des distances 2 et 3-4 (respectivement $t= -1,69$ et $p= 0,1$; $t= -3,41$ et $p=0,0012$). Ainsi les résultats montrent que plus la distance entre deux items est grande, plus le temps de réponse est rapide. L'interaction entre la modalité et la distance n'est pas significative ($F(4,681) = 0,24$; $p=0,912$; $\eta^2 = 0,01$), ce qui suggère que l'effet de distance ne varie pas en fonction des modalités.

Point le plus important, l'interaction entre le groupe et la modalité (dé, doigt, chiffre) n'est pas significative : $F(2,1372) = 0,43$; $p=0,65$; $\eta^2 = 0,00054$. La répétition du test pour le groupe expérimental a donc eu un effet sur le temps de réponse mais non sur le patron de réussite aux trois modalités. Le même patron apparaît chez les enfants du groupe contrôle et du groupe expérimental : les doigts sont significativement plus lents et différent des deux autres modalités (chiffres $t=6,71$; dés $t=8,3$ et tous deux $p < 0,0001$). Les dés sont les plus rapides avec les chiffres ($t=-1,58$; $p = 0,11$) (fig. 2). Ainsi les données relatives à l'évolution des patrons de performances entre T1 et T3 ne peuvent pas être imputées à un effet d'entraînement aux épreuves.

Enfin pour répondre à l'hypothèse selon laquelle les enfants de maternelle traitent différemment des adultes les modalités de représentation des quantités, nous avons mené une dernière analyse comparant les données des adultes et celles des enfants du groupe expérimental à T1. Pour cela, nous avons réalisé une analyse de variance à trois facteurs : 2 Groupes (Adultes et Enfants en T1) x 3 Modalités x 3 Distances.

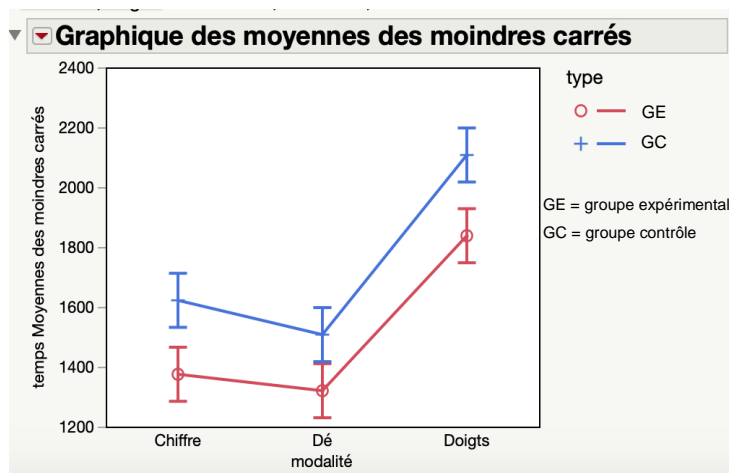


Figure 2 : graphique d'interaction des modalités selon le groupe

L'effet de groupe est significatif : $F(1,1284) = 425,53$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,24603$. Les adultes répondent significativement plus rapidement (en moyenne 716,5 ms toutes modalités confondues) que les enfants (en moyenne 2019,9 ms toutes modalités confondues). La modalité a elle aussi un effet significatif ($F(2, 1284) = 4,12$; $p = 0,0165$; $\eta^2 = 0,00475$). Mais surtout l'interaction entre la modalité et le groupe est significative : $F(2,1284) = 6,78$; $p = 0,0012$; $\eta^2 = 0,00782$. Ainsi les adultes traitent les chiffres et les dés plus rapidement (tous deux $p = 0,0001$) que les configurations de doigts (respectivement $t = 7,28$; $t = 7,81$). Les dés et les chiffres ne diffèrent pas entre eux ($t = -0,53$) alors que les enfants répondent plus rapidement avec les configurations de doigts qu'avec les chiffres.

DISCUSSION

Les données de la littérature évoquent la possibilité qu'entre le traitement approximatif pré-verbal non symbolique précoce et le traitement verbal précis (du cardinal), qui est celui utilisé dans nos cultures, s'intercalerait, pour des quantités supérieures à un et deux (voire trois) mais allant jusqu'à cinq (voire au-delà), un traitement pré-verbal précis

portant sur des codes analogiques, des configurations de points (e.g. dés) ou de doigts qui sont à la fois analogiques (conservant certaines propriétés perceptives) et conventionnelles, les rapprochant alors des codes. Le traitement de tels codes assurerait une transition entre les traitements analogiques initiaux et les traitements symboliques verbaux ou indo-arabes dans lesquels les quantités sont évoquées mais non directement perceptibles (Di Luca et Pesenti, 2011 ; Fayol et Seron, 2005). Une telle hypothèse prédit que :

1. Chez les enfants de niveau préscolaire, pour les quantités allant de 1 à 5, les traitements analogiques (e.g. dés, doigts) sont plus précoces que les traitements symboliques. Effectivement, la reconnaissance et la manipulation des petites quantités sous forme analogique (jetons, points, etc.) précède leur dénomination et leur dénombrement (Benoît *et al.*, 2013 ; Gray et Reeve, 2014 ; Jansen *et al.*, 2014 ; Odic *et al.*, 2015). Les performances sont d'autant meilleures que les configurations analogiques sont canoniques, c'est-à-dire correspondent à des formes conventionnelles (e.g. faces des dés, cartes à jouer, configurations de doigts) (Jansen *et al.*, 2014. ; Lafay, Thevenot, Castel et Fayol, 2013). Les dénominations, i.e. la mise en relation des numérosités avec les noms de nombres ou les chiffres indo-arabes, progressent lentement des petites quantités (de 1 à 2 ou 3 à partir de 3 ans jusqu'à 5 ou 6 à 5-6 ans (Benoît *et al.*, 2013). Vers la fin de la période précédant l'entrée à l'école élémentaire (5-6 ans), les mises en relation entre numérosités et noms de nombres ou symboles arabes sont maîtrisées dans les deux sens (des quantités vers la dénomination et des symboles vers la constitution des quantités – donner n ; Knudsen, Fischer, Henning, et Aschersleben, 2015). À cette même période, les temps de dénomination sont fonction des quantités présentées quel que soit le profil de performance des enfants : plus le nombre d'éléments des collections augmente et plus la latence de dénomination croît (Gray et Reeve, 2014).
2. Les apprentissages et pratiques scolaires induisent un traitement privilégié des chiffres qui évoquent automatiquement les quantités auxquelles ils renvoient (Girelli, Lucangeli et Butterworth, 2000). Les données disponibles ne permettent pas de déterminer si l'utilisation des doigts dans les comparaisons de petites quantités (de 1 à 5) conduit à de meilleures performances que celle des symboles. Si les doigts jouent le rôle d'une représentation transitoire mi-analogique mi-symbolique entre les représentations analogiques approximatives et les représentations symboliques précises, leur traitement devrait à la fois précéder et faciliter celui plus tardif des symboles verbaux ou arabes. Pour tester cette hypothèse, nous avons repris le paradigme de Lyons, Bugden, Zheng, De Jesus et Ansari (2018) dans lequel des enfants de cinq ans devaient comparer des quantités homogènes non symboliques (i.e. dots) ou symboliques (des chiffres).

3. Les patrons de performances se rapprochent de ceux des adultes.

L'objectif de notre étude était donc d'investiguer les performances d'adultes et d'enfants de 5-6 ans à des épreuves de comparaisons de petites quantités sous différentes modalités : les chiffres, les doigts et les dés. Les épreuves de comparaisons ont porté sur des quantités (allant de 1 à 5) sous un format homogène permettant de déterminer comment les participants des deux populations (enfants et adultes) procédaient pour comparer des quantités non symboliques analogiques (dés et doigts) et symboliques (chiffres arabes). Notre principale hypothèse était celle d'une interaction entre l'âge ou le niveau et les modalités : le patron des performances changerait entre la grande section maternelle et le CP et les adultes.

Nos résultats sont conformes à cette attente et vérifient notre hypothèse. Chez les élèves de GSM, les doigts et les dés sont comparés plus exactement et plus rapidement que les chiffres. Chez les mêmes élèves désormais en CP ou chez un autre groupe également en CP, comme chez les adultes, ce sont les chiffres (et les dés) qui sont comparés le plus vite alors que les doigts le sont le plus lentement. Ces données sont compatibles, bien qu'elles ne prouvent pas que les doigts jouent un rôle dans l'évolution de la numéracie, avec la conception selon laquelle les configurations de doigts constitueraient une transition entre les traitements analogiques des quantités et les traitements symboliques de celles-ci.

Un autre résultat important concerne le fait que l'effet de distance, systématiquement rapporté dans les recherches portant sur les comparaisons non symboliques et symboliques, est attesté dans nos résultats, même s'il est seulement tendanciel en GSM. La présence de cet effet étaye la conception selon laquelle toutes les comparaisons de quantités, quelle que soit la modalité de leur présentation (i.e. non symbolique ou symbolique), s'effectueraient sur une même représentation mentale (i.e. une ligne numérique) telle que celle décrite par Dehaene (1992, 2009).

Les données collectées par cette étude pourraient être complétées pour évaluer dans quelle mesure les performances aux doigts et dés conditionnent les performances aux chiffres. Il serait intéressant de mener un suivi longitudinal plus serré dont les évaluations se feraient à des intervalles plus réguliers (tous les mois, par exemple), pour observer l'effet de transition entre les doigts et les chiffres. En effet, l'évolution rapide des interactions des différentes modalités de représentation entre la GSM et le CP soulève des questions, telles que savoir à quel moment précis cet effet de basculement entre les chiffres et les doigts agit. Notre travail a permis de cibler la période pendant laquelle le changement opère, mais plus

de précisions pourraient être apportées. Il serait aussi intéressant de compléter cette recherche en étudiant les facteurs opérant sur cette transition. Ainsi, une étude en collaboration avec les enseignants mesurant l'impact des activités de comptage digital et plus globalement les expériences d'instructions comprenant les doigts paraîtrait pertinente. Elle apporterait des précisions sur la part que jouent les configurations de doigts dans les apprentissages numériques.

Des études supplémentaires traitant les données précédemment collectées des comparaisons hétérogènes seraient judicieuses : elles permettraient de mettre en évidence les interactions entre les différentes modalités de représentation. Par manque de temps, ces données n'ont pas pu être traitées dans la présente étude, nécessitant des analyses statistiques approfondies.

Les différents résultats de notre étude sont à nuancer par le caractère culturel présent dans l'utilisation des doigts. Des différences considérables dans l'emploi des doigts ont été constatées dans nombre de cultures (Bender et Beller, 2012), infirmant leur caractère inné et universel prêté par Butterworth (1999). Les données anthropologiques rapportent que certaines cultures n'ont pas recours aux doigts et chaque culture possède ses propres pratiques numériques. Ainsi, certains indigènes du détroit de Torres communiquent des quantités en désignant des parties du corps. D'autres, à l'instar des Mundurucus, n'utilisent pas instinctivement leurs doigts pour compter et peuvent également utiliser leurs orteils (Guedin, Thevenot et Fayol, 2017). Cette variabilité culturelle n'est pas prise en compte dans notre étude. Les conclusions de nos analyses sont donc applicables aux sociétés occidentales, dont l'utilisation des doigts est encouragée lors du développement de la cognition mathématique.

Une variabilité inter-individuelle est elle aussi à prendre en compte : le fait que les doigts soient davantage un outil utile plutôt qu'un outil indispensable (Crollen, Seron et Noël, 2011) peut créer de légères différences de performance chez les sujets adultes. Certains individus peuvent se saisir d'un outil davantage qu'un autre. Ce biais est limité chez les enfants, les 2 enseignants de GSM ainsi que les 2 enseignants de CP ayant des méthodes d'apprentissage du calcul similaires, autorisant les enfants dans un premier temps à se servir de leurs doigts s'ils le voulaient.

Un biais de sélection fréquemment évoqué lors de recherches étudiant les configurations digitales est celui de la latéralité des sujets. En effet, selon les études la latéralité peut avoir une influence sur les habitudes de comptage des individus (Zago et Badets, 2016). Ce biais a été exclu de notre recherche lorsque nous avons mené des analyses

statistiques démontrant qu'il n'y avait pas de différence de réponse entre les gauchers et les droitiers, bien que les gauchers soient plus rapides que les droitiers.

Concernant la qualité méthodologique, le logiciel utilisé a permis de mesurer les temps de réponses ainsi que l'exactitude avec fiabilité. Un biais concernant l'utilisation de l'ordinateur, dont les habitudes d'utilisation diffèrent selon les individus a été évité par la pose d'un cache sur le clavier et l'utilisation de consignes simples (les sujets n'avaient que 2 touches sur lesquelles appuyer). La familiarité des examinateurs, ainsi que de l'outil d'examen, aurait pu soulever un biais que nous avons éliminé en menant des analyses supplémentaires sur un groupe contrôle. L'échantillon sélectionné pourrait être amélioré en répartissant de manière égale le nombre de gauchers et de droitiers, d'hommes (ou garçons) et de femmes (ou filles). Cependant, l'échantillon d'enfants et d'adultes tout-venant que nous avons sélectionné permet tout de même de conclure de façon significative les interactions des modalités. Les résultats peuvent être généralisés à d'autres enfants et adultes tout-venant ayant été scolarisés en France dès la maternelle.

La puissance statistique pourrait être améliorée en intégrant plus de sujets. Le nombre de sujets perdus de vue étant de 4, le nombre de sujets passe ainsi de 27 en T1 à 23 en T3, ce qui pose un léger biais d'attrition sur la représentativité des effets sur la population étudiée. Cependant, les résultats étant très significatifs, l'analyse reste intéressante concernant la population étudiée.

En conclusion, les hypothèses relatives au traitement de petites quantités (de un à cinq) sous différentes configurations (e.g faces de dés, doigts, chiffres arabes) ont été testées chez des sujets enfants et adultes. Les résultats de cette étude ont mis en évidence que les enfants de niveau préscolaire traitent plus rapidement les comparaisons de petites quantités lorsque celles-ci sont présentées sous format de dés ou de configurations canoniques de doigts que sous format de chiffres arabes, soutenant l'hypothèse selon laquelle les traitements analogiques seraient plus précoces que les traitements symboliques. Les résultats indiquent également que chez les adultes, à l'inverse, ce sont les chiffres arabes qui sont plus rapidement et précisément traités et que cette évolution s'effectue aux alentours de l'âge de 6 ans. Effectivement, lors de la période charnière du passage à l'école élémentaire, après quelques mois d'apprentissage de l'écriture chiffrée des nombres, les performances aux comparaisons symboliques l'emportent, se rapprochant du profil de celles des adultes. Les doigts jouent donc le rôle d'une représentation transitoire mi-analogique, mi-symbolique entre les représentations analogiques approximatives et les représentations symboliques précises. Enfin, pour tous les participants, adultes comme enfants, un effet de distance se manifeste sous les trois formats, que ce soit pour les représentations analogiques ou

symboliques : les réponses sont mieux réussies, en exactitude et en temps, lorsque la distance séparant les items à comparer est importante. Cette étude donne des précisions essentielles concernant l'évolution du traitement des configurations de doigts chez l'enfant de GSM et CP.

Ces bases théoriques pourront ensuite soutenir de futurs travaux portant sur des sujets pathologiques, recherches indispensables pour la rééducation des troubles logico-mathématiques. En effet, les configurations de doigts peuvent apparaître comme un outil de rééducation pertinent, dont le potentiel rééducatif est peu exploité, notamment pour une intervention précoce des troubles du raisonnement logico-mathématique. Davantage de recherches sur la place des configurations de doigts dans le développement de la cognition mathématique sont donc nécessaires. Ces recherches permettront ainsi la mise en place d'activités focalisées autour de l'utilisation des doigts dans le cadre du développement et de la rééducation du raisonnement logico-mathématique.

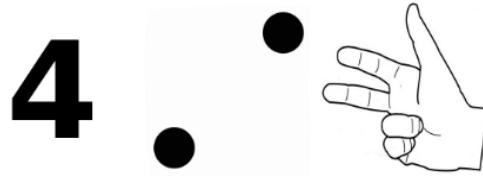
BIBLIOGRAPHIE (A.P.A. 6^e version) :

- Bender, A. et Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition* 124, 156–182. doi: 10.1016/j.cognition.2012.05.005
- Benoit, L., Lehalle, H. et Jouen, F. (2004). Do young children acquire number words through subitizing or counting? *Cognitive Development*, 19, 291–307.
- Benoit, L., Lehalle, H., Molina, M., Tijus, C. et Jouen, F. (2013). Young children's mapping between arrays, number words, and digits. *Cognition*, 129, 95–101.
- Buckley, P. B. et Gillman, C. B. (1974). Comparisons of digits and dot patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 103(6), 1131–1136.
- Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. Londres : Macmillan.
- Crollen V., Seron X. et Noël M.-P. (2011). Is finger-counting necessary for the development of arithmetic abilities? *Frontiers in Psychology*, 2:242.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition* 44, 1–42. doi: 10.1016/0010-0277(92)90049-N
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain : The New Science of How We Read*. New York : Penguin.
- Di Luca, S. et Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: More than just another symbolic code. *Frontiers in Psychology*, 2, Article 272.
- Fayol, M. et Seron, X. (2005). On Numerical Representations. Insights from Experimental, Neuropsychological, and Developmental Research, Dans J.I.D Campbell (dir.), *Handbook of Numerical Cognition*, New York, Academic Press.
- Girelli, L., Lucangeli, D. et Butterworth, B. (2000). The development of automaticity in accessing number magnitude. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76:104–22. doi: 10.1006/jecp.2000.2564
- Guedin, N., Thevenot, C. et Fayol, M. (2017). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*, 63(4), 379–399.
- Gray, S. et Reeve, R. A. (2014). Preschoolers' dot enumeration abilities are markers of their arithmetic competence. *PLoS ONE*, 9(4), e94428.
- Hawes, Z., Nosworthy, N., Archibald, L. et Ansari, D. (2019). Kindergarten children's symbolic number comparison skills predict 1st grade mathematics achievement: Evidence from a two-minute paper-and-pencil test. *Learning and Instruction*, 59, 21–33.
- Jansen, B. R. J., Hofman, A. D., Straatemeier, M., van Bers, B. M. C. W., Raijmakers, M. E. J. et van der Maas, H. L. J. (2014). The role of pattern recognition in children's exact

- enumeration of small numbers. *British Journal of Developmental Psychology*, 32(2), 178-194. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12032>
- Knudsen, B., Fischer, M. H., Henning, A. et Aschersleben, G. (2015). The Development of Arabic Digit Knowledge in 4- to 7-Year-Old Children. *Journal of Numerical Cognition*, 1(1), 21-37. <https://doi.org/10.5964/jnc.v1i1.4>
- Lafay, A., Thevenot, C., Castel, C. et Fayol, M. (2013). The role of fingers in number processing in young children. *Frontiers in Psychology*, 4, 488.
- Lyons, I. M., Bugden, S., Zheng, S., De Jesus, S. et Ansari, D. (2018). Symbolic number skills predict growth in nonsymbolic number skills in kindergarteners. *Developmental Psychology*. 54, 440–457. doi: 10.1037/dev0000445
- Nosworthy, N., Bugden, S., Archibald, L., Evans, B. et Ansari, D. (2013). A two-minute paper-and-pencil test of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude processing explains variability in primary school children's arithmetic competence. *PLoS One*, 8:e67918. doi: 10.1371/journal.pone.0067918
- Odic, D., Le Corre, M., et Halberda, J. (2015). Children's mappings between number words and the approximate number system. *Cognition*, 138, 102–121.
- Rubinsten, O., Henik, A., Berger, A. et Shahar-Shalev, S. (2002). The development of internal representations of magnitude and their association with Arabic numerals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 74–92. doi: 10.1006/jecp.2001. 2645
- Sekuler, R. et Mierkiewicz, D. (1977). Children's judgments of numerical inequality. *Child Development*, 48(2), 630–633. <https://doi.org/10.2307/1128664>
- Verguts, T. et van Opstal, F. (2005). Dissociation of the distance effect and size effect in one-digit numbers. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, 925-930.
- Zago, L. et Badets, A. (2016). What is the role of manual preference in hand-digit mapping during finger counting? A study in a large sample of right-and left-handers. *Perception*, 45, 125-135. doi:10.1177/0301006615602628

ANNEXES

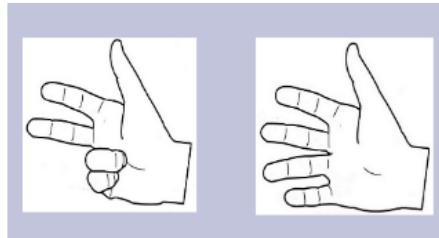
Annexe A : Stimuli à dénommer lors de la première partie de la procédure.



Annexe B : Exemple de deux images proposées dans la deuxième partie de la procédure.



Annexe C : Exemple d'item sous modalités homogènes de la troisième partie de la procédure (ici, les doigts).



Annexe D : Exemple d'item sous modalités hétérogènes de la quatrième partie de la procédure (ici, dé VS chiffre arabe).



ANNEXES

Distances	1		2		3 and 4		<u>Means</u>		SD	
	T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3	T1	T3
<u>Period</u>										
Finger-finger	2478,5 <i>SD= 721,3</i>	2035,7 <i>SD= 975,9</i>	2365,2 <i>SD=785</i>	1725 <i>SD= 515,4</i>	1783,4 <i>SD= 616,3</i>	1686 <i>SD= 613,5</i>	1966	1837,6	720,7	771,7
<u>Number-number</u>	2329,8 <i>SD= 1606,6</i>	1420,6 <i>SD= 504,9</i>	2075,9 <i>SD= 944,9</i>	1438,6 <i>SD= 498,5</i>	2211,4 <i>SD= 2996,9</i>	1250 <i>SD= 362,4</i>	2218,1	1374,8	1993,6	469,9
<u>Dice-dice</u>	2013,2 <i>SD= 1023,5</i>	1369,2 <i>SD= 495,3</i>	1873,4 <i>SD= 1250,5</i>	1299,2 <i>SD= 485,3</i>	1693,6 <i>SD= 687,1</i>	1275 <i>SD= 672,6</i>	1875,4	1319,9	1019,6	550,9
<u>Means</u>	2144,3	1608,5	1977,7	1487,6	1896,1	1403,7				
<u>SD</u>	1180,1	756,8	1011,2	528,2	1817,1	597,6				

Annexe E : Moyennes des temps de réponse (en ms) du groupe expérimental à T1 et T3

Distances	1		2		3 and 4		<u>Means</u>		SD	
	T3 con.	T3 exp.	T3 con.	T3 exp.	T3 con.	T3 exp.	T3 con.	T3 exp.	T3 con.	T3 exp.
<u>Group</u>										
Finger-finger	2216 <i>SD= 860,5</i>	2035,7 <i>SD= 975,9</i>	2065,5 <i>SD= 617,8</i>	1725 <i>SD= 515,4</i>	2004,1 <i>SD= 709,5</i>	1686 <i>SD= 613,5</i>	2107,3	1837,6	752	771,7
<u>Number-number</u>	1700,8 <i>SD= 636</i>	1420,6 <i>SD= 504,9</i>	1664,5 <i>SD= 950,9</i>	1438,6 <i>SD= 498,5</i>	1474 <i>SD= 724,8</i>	1250 <i>SD= 362,4</i>	1621,9	1374,8	771,3	469,9
<u>Dice-dice</u>	1645,7 <i>SD= 956,6</i>	1369,2 <i>SD= 495,3</i>	1473,2 <i>SD= 577,3</i>	1299,2 <i>SD= 485,3</i>	1356,7 <i>SD= 749,1</i>	1275 <i>SD= 672,6</i>	1507,3	1319,9	802,6	550,9
<u>Means</u>	1854,2	1608,5	1734,4	1487,6	1611,6	1403,7				
<u>SD</u>	864,8	756,8	771,8	528,2	777,5	597,6				

Annexe F : Moyennes des temps de réponse (en ms) des groupes contrôlé et expérimental à T3

Titre : Évolution du traitement des petites quantités selon leur mode de représentation.

Résumé : Cette recherche s'intéresse à la façon dont les enfants de grande section de maternelle traitent les représentations de doigts, en comparaison au traitement des dés et des chiffres arabes, et cherche à déterminer s'il existe une évolution de ce traitement lors du passage au cours préparatoire. Des adultes sont également inclus dans l'étude afin de comparer les patrons de performances des deux groupes. Nous observons que les enfants tout-venant traitent plus rapidement les dés et les configurations canoniques de doigts, tandis que chez les adultes, les temps de réponse sont plus rapides pour les dés et les chiffres arabes. Après quelques mois de scolarisation au CP, les enfants rejoignent un profil de performance proche de celui des adultes. Les doigts pourraient ainsi jouer un rôle de modalité transitoire ni-analogique, mi symbolique.

Mots-clés : cognition numérique, doigts, arithmétique, symbole numérique, développement

Abstract: This research focuses on how five-year-old kindergartens treat finger-represented quantities compared to quantities represented by Arabic numerals or dices. It seeks to determine whether the relationship with fingers represented quantities evolves during first year of primary school. Adults are also included in this study to compare their performance patterns to the children's pattern. We observe that children process dice and canonical finger configurations faster, while adults have faster response times for dices and arabic numerals. After a few months in first grade of primary school, children reach a performance profile close to that of adults. The fingers could thus play a transitional role, half analogical, half symbolic.

Keywords : numerical cognition, fingers, arithmetic, number symbols, development

Nombre de pages : 18

Nombre de références bibliographiques : 24