



HAL
open science

**Relations chez l'adulte entre habiletés numériques
élémentaires et performances à des habiletés
arithmétiques de haut niveau : calculs et résolution de
problèmes**

Céline Hertault

► **To cite this version:**

Céline Hertault. Relations chez l'adulte entre habiletés numériques élémentaires et performances à des habiletés arithmétiques de haut niveau : calculs et résolution de problèmes. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03807762

HAL Id: dumas-03807762

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03807762v1>

Submitted on 10 Oct 2022

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.

ANNÉE 2020/ 2021

UNIVERSITÉ CLERMONT-AUVERGNE

CFUO DE CLERMONT-FERRAND

**RELATIONS CHEZ L'ADULTE ENTRE HABILITES NUMERIQUES
ELEMENTAIRES ET PERFORMANCES A DES HABILITES ARITHMETIQUES
DE HAUT NIVEAU : CALCULS ET RESOLUTION DE PROBLEMES**

Mémoire présenté pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Par

HERTAULT Céline

Le 25 Juin 2021

Directeur de mémoire : FAYOL Michel, Professeur émérite, Membre du LAPSCO de l'université de Clermont-Ferrand, Maître de conférences

Membres du jury :

FERRY-LOCATI Elsa, Orthophoniste, Formatrice et Référente pédagogique au CFUO de Clermont-Ferrand

PUECHMAILLE Mathilde, Médecin chirurgien de la face et du cou au CHU Gabriel Montpied, Directrice pédagogique au CFUO de Clermont-Ferrand

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Michel Fayol, mon directeur de mémoire, membre du Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO) de l'université de Clermont-Ferrand, maître de conférences, et professeur émérite en psychologie du développement spécialisé dans l'acquisition de l'écrit et des compétences numériques chez l'enfant, pour avoir accepté de m'encadrer, de me guider grâce à ses conseils pertinents et rigoureux, ainsi que pour son investissement tout au long de ces deux années.

Je remercie également Mickaël Berthon, développeur d'applications pour le CNRS au LAPSCO et co-directeur de la cellule de valorisation de la recherche CA Tech, pour son aide précieuse concernant l'informatique et plus précisément pour les manipulations à effectuer avec le logiciel E-Run pour obtenir des tableaux de résultats exploitables.

Je remercie aussi chaleureusement toutes mes maîtres de stage d'avoir alimenté ma passion pour cette profession, de m'avoir tant appris et donné confiance en moi et en mes compétences cliniques. Je remercie tout particulièrement Peggy et Marie-Sophie pour leur accompagnement au cours de cette dernière année. Ma pratique professionnelle sera largement inspirée de tout ce que j'ai pu découvrir à vos côtés.

Je remercie tous les participants de cette étude de m'avoir accordé leur temps pour me permettre de réaliser ce mémoire.

Je remercie mes amies relectrices, notamment Pauline et Olivia, qui m'ont permis d'apporter un regard extérieur à la rédaction de ce mémoire.

Puis je remercie mes amies clermontoises devenues mes sœurs pendant ces cinq magnifiques années pour avoir su ponctuer nos études de rires et de fêtes. Je n'oublierai rien ; nos moments resteront gravés.

Je remercie Vivien pour sa patience et son soutien. Sans toujours comprendre, il m'a aidée et épaulée.

Enfin, je remercie ma famille d'avoir cru en moi et de m'avoir toujours soutenue. Je remercie surtout mes parents de m'avoir permis de faire les études de mon choix sans que je n'aie à me préoccuper de rien.

Sommaire

TABLE DES ABREVIATIONS.....	2
INTRODUCTION.....	3
METHODOLOGIE.....	12
POPULATION.....	12
MATERIEL.....	12
1. <i>Protocole RAN</i>	13
2. <i>Logiciel E-RUN</i>	14
3. <i>Protocole French Kit</i>	15
4. <i>Problèmes arithmétiques</i>	16
<i>La sélection des outils utilisés</i>	17
RESULTATS	19
A. RESULTATS DES EPREUVES CONSTITUANT LES VARIABLES INDEPENDANTES (VI)	19
B. RESULTATS AUX EPREUVES CONSTITUANT LES VARIABLES DEPENDANTES (VD)	23
C. ANALYSES DE REGRESSION	26
DISCUSSION	29
A. RAPPEL DES DONNEES DE LA LITTERATURE.....	29
B. RAPPEL DE LA PASSATION DE NOTRE ETUDE	30
C. INTERPRETATION DES RESULTATS ET MISE EN RELATION AVEC LES HYPOTHESES	31
D. OBJECTIFS ET PORTEE DE L'ETUDE	32
E. LIMITES ET BIAIS DE NOTRE ETUDE.....	33
F. PERSPECTIVES.....	35
CONCLUSION	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES (A.P.A. 7^{EME} VERSION)	37
ANNEXES	40
RÉSUMÉ	47

Table des abréviations

CQ : Comparaison de Quantités

ED : Effet de Distance

E-RUN : Logiciel de comparaisons de petites quantités

FK : French Kit (= épreuve d'opérations arithmétiques)

FKT : Performances globales au French Kit

IRMf : Imagerie à Résonance Magnétique fonctionnelle

OTS : Object Tracking System (= traitement de « fichiers d'objets »)

RAN (= Rapid Automatized Naming) : Épreuve de Dénomination Rapide Automatisée de lettres, chiffres, dés, jetons et doigts

RANC : Épreuve de Dénomination Rapide de chiffres

RANDE : Épreuve de Dénomination Rapide de dés

RANDO : Épreuve de Dénomination Rapide de doigts

RANL : Épreuve de Dénomination Rapide de lettres

RANT : Regroupement des performances aux différentes RAN

RP : Résolution de Problèmes

SD : Déviation Standard (= écart-type)

SIP : Sillon Intra-Pariétal

SNA : Système Approximatif du Nombre (ou ANS dans les références anglophones)

TR : Temps de Réponse

VI : Variable Indépendante

VD : Variable Dépendante

Introduction

Ces dernières années, plusieurs recherches ont mis en évidence des capacités très précoces d'évaluation approximative des quantités (voir le SNA : Système Numérique Approximatif ou ANS de Approximate Number System, selon Dehaene & Cohen, 1992, 1999) et une capacité d'évaluation précise de petites quantités (de 1 à 3 ou 4) conçue comme un traitement de « fichiers d'objets » (OTS : Object Tracking System). Ces recherches ont souvent suivi l'évolution de ces capacités en fonction de l'âge. Ces deux systèmes de traitement des quantités permettent une représentation non symbolique précise des petites quantités, mais approximative des grandes quantités (Halberda et al., 2008).

Les représentations non symboliques, présentées par des objets, sont considérées comme appartenant aux codes analogiques. Les codes sont des concepts numériques correspondant à une quantité. Ils peuvent donc être analogiques, mais aussi symboliques, auquel cas ils distinguent par le code verbal (représenter oralement la quantité 3 par le mot « trois ») et le code arabe (représenter la quantité 3 par le symbole « 3 ») (Fayol, 2018).

Les processus de SNA et d'OTS fourniraient un sens du nombre intuitif dès la naissance et progressant en précision d'estimation de quantités analogiques au cours du développement. Les données recueillies auprès d'enfants, d'adolescents et d'adultes montrent qu'il existe des différences individuelles dans la précision du traitement des quantités, de l'OTS et du SNA, et que ces différences pourraient être associées à des différences individuelles ultérieures des capacités en mathématiques.

Pour déterminer ces éventuelles corrélations, Halberda et al., 2008 ont évalué une soixantaine d'enfants à qui l'on a présenté rapidement des points bleus et jaunes mélangés spatialement. Les participants devaient indiquer la couleur contenant le plus de points. La discrimination numérique s'améliorait à mesure que le rapport entre les quantités présentées augmentait (effet de taille qui sera détaillé ci-après) : elle était meilleure avec 3 et 9 (rapport de $3/9 = 1/3$) qu'avec 6 et 9 (rapport $6/9 = 2/3$) (Halberda et al., 2008). Il s'agit d'une des premières études dans ce sens mais les résultats des recherches suivantes n'en ont pas toujours été retrouvés.

Une étude plus récente a montré que la relation entre évaluation approximative des quantités et performances aux habiletés numériques élémentaires pouvait exister chez les enfants, mais qu'elle ne s'observait pas chez les adultes. En effet, l'association entre l'acuité de discrimination non verbale des quantités et la réussite en mathématiques changerait avec l'âge et les représentations

non verbales des nombres n'expliqueraient pas les différences de niveaux de performance en mathématiques chez les adultes (Inglis et al., 2011).

Cette indécision des résultats nous conduit à orienter notre travail dans cette direction. D'autant plus que la grande majorité des recherches sur la représentation du nombre, le sens du nombre approximatif et les informations numériques a porté sur des enfants ou adolescents (Gavin R. Price et al., 2012).

Mais la précision des approximations numériques produites par le SNA s'améliore dès la petite enfance jusqu'à l'âge adulte. Elle continue de se développer progressivement pour atteindre un niveau comparable à celui des adultes vers la préadolescence, et qui se maintient jusqu'à l'âge de 30 ans (Halberda & Feigenson, 2008, p. 4). Les adultes peuvent discriminer des quantités plus élevées que celles pouvant être distinguées par les enfants.

La précision du SNA mesurée à l'école maternelle, avant l'enseignement formel des mathématiques, permettrait de prédire de manière sélective les performances numériques scolaires à l'âge de 6 ans. En revanche, la précision du SNA ne permettrait pas de prédire les capacités cognitives non numériques (par exemple la lecture).

Ainsi, il reste beaucoup à faire pour préciser ces relations. Nous ne savons pas réellement si cette perception approximative des nombres sert de base aux aptitudes mathématiques scolaires.

Les habiletés numériques de base, sont aussi appelées compétences numériques élémentaires. Elles font appel à la dénomination de chiffres arabes et de quantités analogiques (doigts, jetons, dés). Dans notre travail, nous recourons à l'épreuve de dénomination rapide automatisée de lettres, chiffres, dés, jetons et doigts (RAN Rapid Automatized Naming) pour tester les capacités de dénomination de quantités analogiques et de chiffres arabes. Le RAN vise à évaluer la vitesse de traitement (sur les versants de perception, de récupération en mémoire et d'articulation) sous diverses modalités de présentation. La performance du RAN a été étudiée pour déterminer si elle pourrait prédire les résultats ultérieurs en lecture et arithmétique. Les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les configurations analogiques de dés, de doigts et de points peuvent être des mesures fiables pour évaluer la vitesse de dénomination et pour établir la probabilité de réussite ultérieure en lecture et arithmétique (Hornung et al., 2017). La passation de cette épreuve pour notre étude est détaillée davantage dans la partie « Méthodologie » de ce mémoire.

Les recherches conduites relativement au SNA et à l'OTS ont utilisé le paradigme de la comparaison de quantités non symboliques (dés, points, etc) ou symboliques (chiffres arabes).

Selon ce paradigme, la comparaison de deux quantités fait apparaître deux effets à la fois, en termes d'exactitude et de temps de réponse (TR) :

- 1) un effet de distance (ED), c'est-à-dire que la difficulté à comparer deux items augmente lorsqu'ils sont proches (exemple : 3 et 4 sont plus difficiles à comparer que 3 et 9) ;
- 2) un effet de taille, c'est-à-dire qu'il est plus facile de comparer 3 et 4 que 153 et 154.

Plus les quantités sont proches, plus les erreurs sont fréquentes et plus les temps de réponse sont longs (Fayol, 2018). Il est alors possible de déterminer la précision du SNA d'un individu en variant d'un essai à l'autre la distance ou le rapport entre les quantités de points de deux ensembles.

Ces effets découlent d'une loi appelée loi de Weber-Fechner, à laquelle sont soumis les adultes devant comparer des quantités exprimées symboliquement (par exemple, les nombres 3 et 7 écrits en code arabe) ou non symboliquement (par exemple, les nombres 3 et 7 exprimés analogiquement par des points) (Lafay et al., 2013).

Dans notre travail, nous utiliserons l'effet de distance car nous manipulons de petites quantités (de 1 à 5) pour lesquelles le rapport entre quantités est peu pertinent. Cet effet est robuste et permet d'établir une tendance linéaire avec une pente reflétant les différences interindividuelles.

Les données issues des neurosciences montrent, grâce à l'utilisation d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), que les jugements numériques activent des réseaux situés dans le cortex préfrontal et le cortex pariétal postérieur, et plus particulièrement le segment horizontal du sillon intra-pariétal SIP (région du cortex pariétal postérieur). Cette information suggère l'existence d'un réseau pariéto-frontal pour la numératie, d'abord chez le singe puis dans le cerveau humain (Nieder & Miller, 2004; G. R. Price et al., 2013). Mais les données d'IRM montrent également une activation chez l'enfant, particulièrement dans le sillon intra-pariétal gauche. Les intuitions de base sont soutenues par des neurones dans le SIP, un rôle qui peut être observé peu après la naissance (Pry, 2017).

Le SIP est donc une zone réactive au traitement des quantités, qu'il s'agisse de la mise en œuvre d'habiletés numériques de base ou d'habiletés complexes. C'est pourquoi, dans une situation de comparaison de quantités, la base neurale du SNA dans le SIP sur la surface latérale du lobe pariétal s'active.

Plusieurs études ont montré que les régions du lobe pariétal inférieur gauche, dont le gyrus supramarginal gauche et le cortex cingulaire antérieur, sont associées à la recherche arithmétique

de faits. Alors que le SIP est largement impliqué dans la représentation et dans le traitement des informations numériques et il est associé à des stratégies de résolution de problèmes.

Les résultats suggèrent que les sujets ayant des performances élevées en mathématiques utilisent des mécanismes neuronaux associés à la récupération de la mémoire pour résoudre des équations à un chiffre, tandis que ceux qui ont des scores plus faibles utilisent des systèmes liés au traitement de la quantification numérique, et s'appuient probablement sur des calculs procéduraux (G. R. Price et al., 2013).

Les comparaisons de petites quantités homogènes (items comparés avec des items de mêmes modalités) ou hétérogènes (items comparés avec des items de modalités différentes), le comptage verbal et les activités de dénombrement seraient fondatrices des activités arithmétiques et mathématiques plus complexes.

Les habiletés numériques complexes, aussi appelées habiletés de haut niveau, comprennent ce qui est transmis par enseignement formel et explicite comme les différents traitements des opérations arithmétiques (additions, soustractions, multiplications, divisions) et les propriétés des opérations, ainsi que la résolution de problèmes.

Le traitement des opérations suppose de comprendre que la manipulation de symboles doit correspondre aux transformations de quantités concrètes (Fayol, 2018).

La résolution de problèmes mobilise, elle aussi, des connaissances conceptuelles et arithmétiques pour analyser au mieux une situation donnée et pour choisir la bonne stratégie à mettre en œuvre. En effet, un problème arithmétique est une tâche dont la résolution nécessite le recours à au moins un calcul. L'exécution des calculs est une condition nécessaire mais non suffisante à la résolution, car les données du problème appartiennent à un énoncé décrivant les relations entretenues par ces diverses données (Fayol, 2018; Thevenot & Perret, 2009).

Ce sont les différentes étapes à réaliser qui peuvent rendre complexe la tâche de résolution d'un problème. Selon Alain Ménessier (Ménessier, 2007), cinq étapes sont nécessaires :

1. La traduction du problème (lire l'énoncé pour le comprendre) ;
2. L'intégration du problème (se représenter le problème pour créer un modèle mental) ;
3. La planification des actions (choisir l'opération adéquate) ;
4. L'exécution du calcul (récupérer en mémoire les faits arithmétiques et utiliser des procédures de calcul) ;

5. L'autocontrôle du résultat (déduire des incidents s'il y a une erreur dans la procédure ou un résultat non cohérent).

Nous avons retenu ces deux habiletés de haut niveau pour étudier les performances des adultes : d'une part, le traitement d'opérations arithmétiques, d'autre part, la résolution de problèmes arithmétiques simples.

L'éventuel impact de ces habiletés numériques de base n'avait pas ou peu été envisagé sur les performances ultérieures plus complexes en mathématiques, au niveau scolaire puis chez les adultes (Bardi, 2014). Les chercheurs se sont intéressés aux capacités numériques aux différents âges de la vie : l'âge préscolaire, l'âge scolaire et l'âge adulte (Halberda & Feigenson, 2008; Mazzocco et al., 2011) ; et à leurs relations aux habiletés de base des plus jeunes (Lindskog et al., 2014). Certains chercheurs suggèrent un lien entre le SNA et les mathématiques formelles acquises chez les enfants.

Pour étayer cette hypothèse, Halberda et al. (2012) relèvent par le biais d'un protocole sur internet la précision des intuitions numériques de base de plus de 10 000 participants âgés de 11 à 85 ans et analysent la relation avec leurs performances mathématiques. Comme détaillés précédemment, les résultats actuels suggèrent que la précision du SNA est une composante cognitive présente dès la naissance et évoluant au cours de la vie et selon chacun (différences individuelles), ce qui laisse entrevoir une possibilité d'intervention pour améliorer la perception des nombres, à différents âges. En effet, nous ne savons pas grand-chose du rôle de ce système approximatif du nombre au-delà de l'enfance. Ces résultats constituent les premiers arguments selon lesquels la précision du SNA précoce chez des enfants d'âge préscolaire, mesurée avant tout enseignement formel, pourrait prédire les capacités mathématiques ultérieures.

Ces arguments sont complétés par deux observations complémentaires :

- D'une part, les enfants dyscalculiques présentent des performances faibles aux épreuves de comparaisons des quantités (Mazzocco et al., 2011). De manière plus générale, la dyscalculie (dite développementale) qualifie des troubles sévères et persistants des apprentissages numériques sans atteinte organique ou déficience mentale identifiée (Ménissier, 2014) ;

- D'autre part, des entraînements aux opérations approximatives améliorent les performances arithmétiques (Park et al., 2016). On relève également ce résultat chez les adultes (Park & Brannon, 2014).

Ainsi, une relation modeste mais stable serait identifiée entre notre système de cognition de base et nos performances numériques plus formelles à travers les âges de la vie (Halberda et al., 2012). Elle est toutefois essentiellement focalisée sur le calcul relatif aux opérations arithmétiques. C'est pourquoi notre protocole intègre à la fois une épreuve de calcul d'opérations, de manière à évaluer si nous parvenons à retrouver chez des adultes les résultats des recherches antérieures, et des problèmes simples, afin de tester l'hypothèse d'une éventuelle association entre performances aux comparaisons de petites quantités et performances en résolution de problèmes.

Une question importante a trait aux raisons pour lesquelles l'acuité des performances aux comparaisons de quantités s'améliore en fonction de l'âge et/ ou de la scolarité.

Concernant les capacités numériques à l'âge scolaire, les mécanismes cérébraux associés aux compétences arithmétiques élémentaires seraient également liés aux performances mesurant les compétences en mathématiques à la fin du lycée (G. R. Price et al., 2013).

Ainsi Halberda, Feigenson et Mazzocco (Halberda & Feigenson, 2008; Mazzocco et al., 2011) ont réalisé des travaux cherchant à attester que les habiletés numériques de base auraient un effet sur les capacités d'apprentissage ultérieur des mathématiques. Pour cela, les auteurs ont réalisé une étude longitudinale sur une soixantaine d'enfants avec un développement s'inscrivant dans la norme. Ils ont évalué les performances de ces sujets tous les ans entre leur 5 et 11 ans, à des épreuves mathématiques, verbales et cognitives, pour tester les corrélations existantes entre l'acuité précoce du SNA et les résultats aux épreuves de mathématiques symboliques. Leurs résultats montrent que les différences interindividuelles aux résultats en mathématiques à l'école élémentaire sont liées à des différences interindividuelles précoces, ce qui suggère que le SNA est fonctionnel et influe avant même l'enseignement symbolique et explicite des mathématiques, soit avant l'apprentissage scolaire des mathématiques.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Zebian et Ansari (Zebian & Ansari, 2012) qui montrent à travers leur expérience que les adultes n'ayant pas été scolarisés n'obtenaient pas de différence significative en comparaison de quantités non symboliques par rapport aux adultes scolarisés et plus instruits. Dans cette étude, des petites quantités de 1 à 9 étaient présentées (soit

une numération très élémentaire) à des adultes n'ayant pas tous reçu le même niveau d'éducation mathématique. Ceux n'ayant pas reçu d'éducation scolaire en mathématiques étaient, eux-aussi, familiarisés avec la manipulation de ces quantités puisqu'il s'agissait de petites quantités rencontrées quotidiennement.

Par la suite, une étude (Nys et al., 2013) a comparé les performances d'adultes ayant reçu différents niveaux d'éducation mathématique (scolarisés, non scolarisés, et non scolarisés mais ayant reçu un enseignement mathématique à l'âge adulte) sur des tâches de comparaison de grands nombres. L'objectif était d'évaluer si l'éducation mathématique affectait le développement d'approximations de grands nombres.

La première hypothèse supposait que les performances du groupe non scolarisé seraient inférieures à celles des autres groupes, et donc que l'enseignement des mathématiques améliorerait la précision des compétences approximatives en matière de nombres. La seconde hypothèse supposait que le groupe scolarisé obtiendrait de meilleurs résultats que les autres groupes, puisque l'éducation formelle serait un déterminant essentiel des compétences numériques.

Ces hypothèses ont été validées car les résultats suggèrent que les adultes apprécient les effets quantitatifs des opérations sur les nombres et la façon dont les nombres interagissent, grâce à l'apprentissage élémentaire de l'arithmétique. Les sujets non scolarisés ont davantage de difficultés à comparer de grandes quantités que des petites quantités.

L'exploitation des nombres par l'arithmétique constitue une occasion supplémentaire de mieux comprendre ce que représentent les nombres et de mieux appréhender les relations entre chiffres et numérosités (Nys et al., 2013).

Il est important de noter que les différentes aires cérébrales activées lors des tâches numériques complexes sont les mêmes chez les enfants et chez les adultes, ce qui conforte les résultats des études comportementales effectuées. Les recherches comportementales montrent que les enfants suivent globalement un processus de développement des compétences arithmétiques dans lequel les calculs simples sont d'abord effectués par des stratégies procédurales, mais sont ensuite progressivement résolus par la récupération de la mémoire. Les enfants en difficulté d'apprentissage des mathématiques ne présentent pas ce changement de développement, c'est ainsi qu'on suppose que la maîtrise de l'arithmétique a une place prédominante dans l'acquisition des compétences mathématiques complexes (Geary, 2010; Rotzer et al., 2009).

Dans ces différents travaux publiés, les habiletés numériques de base sont souvent évaluées grâce à des épreuves élémentaires testant le SNA comme des épreuves simples de comparaisons de collections de quantités (jetons, dés, dominos) ou de chiffres.

Les habiletés numériques de haut niveau sont testées grâce à des épreuves complexes de type résolution d'opérations élémentaires (additions, soustractions, multiplications, divisions) ou de problèmes arithmétiques (Fayol, 2018).

Il serait intéressant de chercher à vérifier que les corrélations entre habiletés numériques élémentaires et opérations ou problèmes complexes se généralisent à de nouvelles situations de base comme des comparaisons de configurations de doigts (Guedin et al., 2018), de dés et de chiffres.

Le lien entre les configurations et perceptions de doigts et la pensée numérique a été largement documenté au cours des dernières décennies. Les doigts ont été reliés de façon récurrente au développement numérique et plus spécifiquement aux activités de comptage et d'arithmétique (Penner-Wilger et al., s. d.). Les doigts et les perceptions tactiles sont universellement et spontanément mis en place lors du développement arithmétique. Leur utilisation permettrait de renforcer les liens entre les différentes représentations et favoriser les acquisitions. Mais les recherches conduites chez différents peuples montrent que l'usage des doigts est universel pour quantifier, assurer le suivi de comptage et simuler les transformations, mais que ces doigts sont plus ou moins mobilisés car les procédures correspondantes diffèrent (Fayol, 2018; Scanf, 2018). En effet, les doigts semblent jouer un rôle utile pour les constructions numériques ; pourtant leur utilisation lors de performances arithmétiques n'est pas indispensable (Van Rinsveld et al., 2020).

Les questions que nous nous posons sont les suivantes : Existe-t-il encore chez l'adulte un lien entre les habiletés numériques élémentaires (dénomination rapide, comparaisons de petites quantités de 1 à 5 sous différentes modalités) et les performances à des habiletés numériques complexes : le traitement d'opérations élémentaires d'une part, et la résolution de problèmes simples d'autre part ? Dans quelles mesures ce lien est-il significatif ?

Nous attendons une corrélation entre les résultats obtenus aux différentes épreuves élémentaires et les résultats obtenus aux épreuves de haut niveau.

Nous attendons donc que cette relation avec les habiletés numériques de base s'associe aux opérations et à la résolution de problèmes arithmétiques simples.

Ainsi les performances recueillies des adultes tout-venant aux deux épreuves de base (dénomination et comparaison de quantités) contribueront à prédire leurs résultats aux opérations élémentaires et/ou à la résolution de problèmes.

L'objectif à plus long terme sera d'ajuster précisément les prises en soin orthophoniques pour les patients souffrant de difficultés mathématiques et arithmétiques (résolution d'opérations et de problèmes simples).

Méthodologie

Population

L'étude porte sur une trentaine d'adultes. Tous les participants sont des adultes français (21 femmes et 10 hommes) dont l'âge moyen est de 26 ans (étendue : de 20 à 54 ans). Il s'agit d'une population homogène ayant globalement un haut niveau d'enseignement supérieur (en moyenne Bac +4).

Leurs domaines de formation et d'activité sont variés. On relève que 20 participants sont étudiants (dans le secteur médical ou paramédical pour la majorité, puis dans le droit ou le commerce), 2 sont commerciaux, 1 est orthophoniste, 1 est kinésithérapeute, 1 est infirmière, 1 est psychomotricienne, 1 est professeur des écoles, 1 est entrepreneur, 1 est comptable, 1 est chargé d'affaires et 1 est intermittent du spectacle.

Le recrutement de ces participants s'est basé sur certains critères d'inclusion et d'exclusion : les adultes choisis devaient avoir plus de 18 ans, et ne devaient pas avoir de diagnostic posé de troubles logico-mathématiques. Ces participants sont des personnes volontaires issues de mon entourage plus ou moins proche.

En raison du respect des personnes interrogées et du recueil de leurs données anonymisées, cette étude a été réalisée avec leur consentement écrit et signé pour l'utilisation de leurs données récoltées.

Matériel

Le protocole n'est pas une création d'outils mais une combinaison d'outils déjà existants. Il comporte quatre épreuves différentes détaillées ci-dessous.

Les passations se sont déroulées dans des lieux neutres et calmes, pour que les sujets ne soient pas ou peu exposés à des sources potentielles de distraction qui pourraient fausser les résultats. Les participants étaient installés à un bureau ou à une table pour travailler dans des conditions optimales. La passation des épreuves ainsi que les instructions transmises étaient identiques pour tous, et sont détaillées plus précisément ci-dessous pour chacun des outils.

L'ensemble de la passation a duré 30 à 55 minutes environ, en fonction des besoins de chaque participant (pause entre deux épreuves, questions avant le lancement d'une épreuve, etc).

L'ordre de présentation des épreuves pouvait varier, mais il fallait obligatoirement débiter par les tests d'habiletés numériques élémentaires avant de présenter les épreuves de haut niveau.

C'est pourquoi la passation se déroulait le plus souvent selon la présentation ci-après (soit RAN, E-RUN, French Kit puis résolution de problèmes). Parfois la passation du logiciel E-RUN pouvait précéder celle du test RAN, dans le cas où le logiciel était déjà prêt à l'utilisation au moment de débiter la passation.

1. Protocole RAN

Ce test est une épreuve de Dénomination Rapide Automatisée ou Rapid Automated Naming (RAN) de lettres, de chiffres (= dénomination alphanumérique), de dés, de jetons (= constellations non hiérarchiques) et de doigts.

Matériel :

Les différentes quantités sont écrites en police noire sur des feuilles A4 blanches plastifiées. Seules les quantités digitales sont dessinées en couleur chair détournées de noir, sur des feuilles A4 blanches plastifiées (Annexe n°1).

Quarante items sont présentés sur la feuille en format paysage (8 items inscrits en horizontal x 5 items inscrits en vertical), pour toutes les modalités de présentation.

Passation :

La passation se déroule au bureau, l'expérimentatrice étant assise à côté du participant. La consigne énoncée est la suivante :

« Vous devez dénommer, lire *le nom des lettres / des chiffres / des dés / les jetons / le nombre de doigts* de gauche à droite et de haut en bas, le plus rapidement possible car le temps est chronométré. ».

Chaque modalité est évaluée à deux reprises, l'une à la suite de l'autre. Entre chaque épreuve, une pause peut être accordée afin de réexpliquer la tâche qui suit, de répondre aux questions du participant, ou de lui permettre un instant de répit.

Cotation :

Le chronomètre se lance dès le 1^{er} item dénommé et s'arrête dès que le dernier item est dénommé. Entre chaque série de dénominations, le temps de passation est relevé ainsi que le nombre d'erreurs éventuelles. Cependant aucun participant n'a réalisé d'erreur sans s'autocorriger instantanément. C'est pourquoi seul le temps est rapporté dans les résultats obtenus (tableau n°1).

2. Logiciel E-RUN

Le logiciel E-Run est une épreuve informatisée de comparaison de petites quantités (de 1 à 5), conçue grâce au logiciel E-Prime 2.0. Il est élaboré par Mickaël Berthon, ingénieur au laboratoire de psychologie sociale et cognitive (LAPSCO CNRS UMR 6024) de Clermont-Ferrand.

Matériel :

Ce test se compose de quatre parties :

1. Dénomination (comportant 15 items) ;
2. Exemples de comparaisons (comportant 4 items) ;
3. Comparaisons homogènes (comportant 60 items) ;
4. Comparaisons hétérogènes (comportant 120 items).

Dans le cadre de notre étude, nous avons évalué uniquement les quantités présentées sous forme de collections homogènes, soit :

- Chiffres / Chiffres ;
- Dés / Dés ;
- Doigts / Doigts.

Chacune de ces parties utilise 3 types de stimuli : collections de points (dés) ; configurations de doigts (configurations canoniques) et chiffres arabes dont les quantités varient de un à cinq, qui apparaissent sur un fond blanc (illustrés en Annexe 2). Ces stimuli sont affichés dans des carrés de 9,5 cm de côté.

Passation :

Entre chaque partie un écran annonçant la partie suivante s'affiche, pendant lequel une pause peut être proposée 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 avant le lancement de l'épreuve.

Les situations sont présentées sur un écran d'ordinateur et les participants sont invités à répondre oralement pour la première tâche (dénomination), pendant que l'examineur fait les manipulations nécessaires (appuyer sur une touche du clavier quand l'item a été dénommé pour enregistrer le temps de réponse). Pour les tâches suivantes, les participants répondent en utilisant le clavier d'ordinateur et

plus précisément les touches « d » et « k » pour sélectionner lequel des deux éléments de la paire présentée est le plus grand.

L'explication des touches à utiliser se fait lors de la présentation des exemples à comparer. Pour répondre aux comparaisons suivantes, le participant est autonome devant l'écran et le clavier de l'ordinateur.

Cotation :

Le logiciel relève le nombre de bonnes réponses effectuées et le temps de passation pour chaque comparaison, sous forme de tableau Excel (Annexe n°5). Les données analysées sont uniquement les temps de réponse, en millisecondes.

3. Protocole French Kit

Le protocole du French Kit est une batterie d'opérations élémentaires qui permet d'évaluer la précision et la vitesse en résolution d'opérations.

Matériel :

Les opérations à résoudre sont des additions, des soustractions et des multiplications. Le protocole comporte six parties :

- 1) Entraînement à la résolution d'additions (9 opérations)
- 2) Épreuve n°1 de résolution d'additions (60 opérations)
- 3) Épreuve n°2 de résolution d'additions (60 opérations)
- 4) Entraînement à la résolution de soustractions et de multiplications (9 opérations de chaque)
- 5) Épreuve n°1 de résolution de soustractions et multiplications (60 opérations)
- 6) Épreuve n°2 de résolution de soustractions et multiplications (60 opérations)

Les opérations sont posées et un encart se situe en dessous afin d'y inscrire le résultat (illustrées en Annexe n°3).

Les différentes feuilles de passation comportent 60 opérations (présentées sous 10 opérations en ligne x 6 opérations en colonnes). Les additions se composent systématiquement de trois nombres à deux chiffres. Les soustractions se composent de deux nombres à deux chiffres. Et les multiplications se limitent à un nombre à deux chiffres à multiplier avec un chiffre (entre 2 et 9).

Passation :

Les consignes énoncées au participant au début de la passation sont les suivantes :

« Ce test a pour but de déterminer la précision et la vitesse à laquelle vous réalisez des opérations. La première partie consiste à résoudre des additions en inscrivant le résultat dans l'encart en dessous, donc le plus rapidement possible. Il y a quelques items d'entraînement pour commencer. Vous pouvez écrire autour de la feuille si besoin de brouillon. Le but n'est pas de finir la feuille, je vous arrêterai au bout de deux minutes, donc essayez de répondre le mieux possible le plus vite possible. Dites-moi quand vous avez terminé l'entraînement et que vous êtes prêt(e) ! »

Les consignes énoncées au participant lors du second entraînement sont les suivantes :

« Il s'agit désormais de soustractions et de multiplications. Vous remarquerez qu'il y a une ligne dédiée aux soustractions, puis une ligne dédiée aux multiplications, et cetera, toujours en alternance ! Vous aurez, encore une fois, deux minutes pour répondre le mieux possible et le plus vite possible. »

Entre chaque épreuve, une pause peut être proposée afin de réexpliquer la tâche qui suit, de répondre aux questions du participant, ou de lui permettre un instant de répit.

Cotation :

Le score retenu à ce test sera le nombre d'opérations correctement résolues dans le temps imparti. On notera 1 si le résultat de chaque opération est correct. On relèvera également le nombre d'opérations erronées. Les calculs non terminés ne donneront lieu à aucun point.

Ce test French Kit n'est pas normé en France, ce qui ne nous permet pas de comparer les résultats obtenus par nos participants aux résultats moyens.

4. Problèmes arithmétiques

L'épreuve des problèmes arithmétiques regroupe une série de 10 problèmes à résoudre, tirés d'exercices dédiés à des élèves de CM2.

Matériel :

Cette épreuve se présente sous forme de deux feuilles A4 blanches et les énoncés sont écrits en police Time New Roman taille 12. La longueur des énoncés varie de 1 à 6 ligne(s), sans lien avec la complexité du problème (Annexe n°4).

Les participants doivent répondre aux questions à la main. Un espace blanc (de 5 lignes) est prévu sous chaque énoncé pour y inscrire les calculs et le résultat. Le temps défini pour résoudre correctement le maximum de problèmes est de 10 minutes.

Passation :

Les consignes données sont les mêmes pour tous les participants :

« Ce test a pour but de déterminer la précision et la vitesse à laquelle vous réalisez des problèmes. Vous devez résoudre le maximum de ces 10 problèmes. Je vous arrêterai après 10 minutes donc essayez de répondre le mieux possible le plus vite possible. Pour cela, vous pouvez écrire autour des énoncés et au dos si vous avez besoin de brouillon. Vous pouvez les réaliser dans l'ordre que vous le souhaitez. Vous devez mettre en évidence le résultat final obtenu. »

Avant de lancer le début de l'épreuve et donc d'activer le minuteur, on demande au participant s'il a des questions. Dans le cas inverse, on commence l'épreuve.

Cotation :

On notera 0 si la réponse n'est pas le résultat attendu et 1 si la réponse est correcte. Les calculs non aboutis ou les réponses non terminées ne donneront lieu à aucun point.

La sélection des outils utilisés

La combinaison de ces différentes épreuves a été choisie et établie dans l'objectif d'évaluer les compétences numériques de base et les compétences numériques élevées des adultes sous plusieurs approches possibles.

Le protocole RAN est sélectionné dans le but de tester les habiletés numériques simples à travers une dénomination rapide de diverses modalités (lettres, chiffres, dés, jetons, doigts). Il permettra de connaître les compétences de reconnaissance visuelle de petites quantités (arabes et analogiques), et la vitesse d'identification et de transcodage arabe-oral et analogique-arabe de nos sujets adultes. Cette désignation rapide correspond au comportement requis pour l'évaluation du système numérique approximatif.

Le logiciel E-RUN de comparaison de petites quantités homogènes est sélectionné dans le but de tester le système numérique approximatif en généralisant à davantage de situations de base, et notamment aux configurations de doigts, de dés et de chiffres. Il permettra d'évaluer principalement l'effet de distance (ED), présenté précédemment, selon lequel il est plus rapide de comparer des quantités éloignées que des quantités proches (ex : comparer 3 et 9 est plus simple et plus rapide que comparer 3 et 4). L'autre effet évoqué ci-dessus est l'effet de taille selon lequel la comparaison des petites quantités est plus rapide que celle des grandes quantités, mais il ne sera pas évalué avec ce protocole puisque peu pertinent au vu des petites quantités manipulées.

Le protocole du French Kit est sélectionné afin de mesurer les habiletés numériques de haut niveau à travers un outil normé. Il possède l'avantage de proposer des entraînements avant les épreuves afin de se réappropriier les connaissances procédurales nécessaires aux adultes n'ayant, pour certains, pas réalisé d'opérations élémentaires (additions, soustractions ou multiplications) à la main depuis plusieurs années. En effet, certains sujets m'ont fait part de leur habitude à utiliser une calculatrice pour leurs calculs quotidiens.

La série de problèmes arithmétiques est, comme le protocole du French Kit, également sélectionnée dans l'objectif de mesurer les habiletés numériques de haut niveau. La liste des dix problèmes retenus est diversifiée pour permettre de varier les raisonnements logiques, les techniques opératoires et les calculs arithmétiques mis en jeu chez le sujet adulte lors de leur résolution. De plus, les problèmes retenus sont sélectionnés de manière à rester accessibles aux adultes de différents niveaux, puisqu'ils sont adressés initialement à des élèves scolarisés en classe de CM2.

Résultats

Pour répondre à nos questionnements, nous évaluerons la part de variance expliquée par les performances aux comparaisons de quantités (E-Run) et aux dénominations (RAN), considérées comme nos épreuves de base, en rapport avec les performances aux opérations d'une part, puis aux résolutions de problèmes d'autre part.

Lorsque la taille de l'échantillon est supérieure ou égale à 30 ($n \geq 30$), alors la distribution de l'échantillon tend à suivre une loi normale selon le théorème central limite. Dans notre épreuve de comparaison E-Run, on admet que les données de l'échantillon tendent à suivre une distribution normale, puisque l'échantillon est de 31 sujets ($n > 30$).

Une fois cette distribution normale admise, on réalise un test statistique paramétrique, le t de Student non apparié, pour toutes les comparaisons de deux moyennes a-b et b-a, des moyennes observées de deux échantillons indépendants.

Les résultats obtenus à ces différentes épreuves ont été vérifiés grâce à l'utilisation d'analyses de corrélations et de régressions, permettant d'évaluer la part de variance de chacune des variables.

Dans un premier temps, nous commencerons à présenter les résultats en dénomination des différents RANs, puis ceux en comparaison de quantités (CQ). Ce sont les performances relevées dans ces épreuves qui constituent nos variables indépendantes (c'est-à-dire nos prédicteurs potentiels).

Ensuite, nous poursuivrons par les résultats obtenus aux opérations (FK), puis à la résolution de problèmes (RP). Ce sont les performances relevées dans ces épreuves qui constituent nos variables dépendantes (c'est-à-dire les variables dont nous cherchons à prédire les variations).

Nous terminerons par des analyses de régression cherchant à répondre à notre question initiale : les performances aux deux épreuves numériques de base contribuent-elles à prédire les résultats aux opérations (FK) et à la résolution de problèmes (RP) ? Et quel en est leur poids ?

A. Résultats des épreuves constituant les variables indépendantes (VI)

Les dénominations de lettres, chiffres, dés, doigts (tirées du RAN)

Les résultats détaillés de chaque participant apparaissent dans le tableau 1 ci-dessous.

Les moyennes et les déviations standards (SD) aux différents RANs sont reportées dans le tableau 2 ci-dessous. Et les corrélations entre performances des différents RANs y sont également retranscrites : on relève alors que toutes sont significatives à au moins .001.

Sujets	RAN Lettres	RAN Lettres	RAN Chiffres	RAN Chiffres	RAN Dés	RAN Constellations canonique	RAN Doigts	RAN Doigts
1	26	25	24	21	20	29	27	27
2	18	17	18'5	18'8	17	26	20	20
3	14	14'5	13'7	13'8	16'3	23	23'8	18'3
4	12'6	18'5	12'4	11'1	16'8	18'5	30'4	23'6
5	10'6	11'	10'5	11'9	14'2	21'5	21'1	17'3
6	12'7	12'8	11'3	10'8	12'6	22'2	18'	17'7
7	11'	10'6	12'7	11'6	11'6	20'8	20'8	17'6
8	15'	14'9	15'4	15'2	15'5	21'5	18'9	18'7
9	16'8	16'7	14'	17'	19'5	23'	21'6	23'9
10	17'	18'	18'9	17'5	21'	26'5	23'9	24'
11	13'6	13'9	16'5	14'5	17'4	22'2	22'5	21'
12	13'	15'4	14'	12'3	15'8	19'8	20'	20'5
13	17'	15'	16'9	15'	15'1	22'3	18'9	18'9
14	19'8	20'4	21'8	19'4	19'4	22'1	22'8	24
15	12'2	12'5	12'	13'4	15'8	22'3	21'4	19'6
16	15'9	14'1	16'4	14'9	17'8	21'1	24'8	25'8
17	14'5	13'3	12'	11'5	15'	18'1	18'9	19'
18	13'	11'3	9'6	9'8	11'	17'8	14'8	17'2
19	15'1	12'6	14'4	14'	19'7	25'9	20'8	21'7
20	17'1	16'	14'6	14'4	19'3	33'6	36'7	29'9
21	13'	13'6	13'	13'3	11'9	22'4	17'6	17'8
22	16'8	18'2	15'3	14'9	16'6	20'8	21'4	20'3
23	14'7	14'4	12'2	12'	13'1	19'7	18'7	17'9
24	13'8	13'8	12	11'1	13'2	17'	17'	17'2
25	12'8	11'6	11'8	11'8	14'8	22'6	21'8	18'8
26	13'3	13'1	11'1	11'	13'9	18'1	20'3	21'8
27	15'1	15'1	12'9	12'	15'	17'4	18'2	18'
28	16'	14'	11'	10'8	17'5	23'	23'8	23'3
29	15'	14'5	13'6	11'9	16'6	24'6	23'8	21'5
30	14'8	14'6	13'8	14'	14'8	18'9	19'	17'9
31	18'9	19'	17'2	14'6	19'	20'	24'	24'4

Tableau 1 : Résultats obtenus à l'épreuve du RAN pour chaque participant (en secondes)

	<i>Moyennes et SD</i>	<i>RANL</i>	<i>RANC</i>	<i>RANDE</i>	<i>RANDO</i>
<i>RANL</i>	14,6 (3,5)	1.00000	.77949	.71386	.56161
<i>RANC</i>	13,9 (3,5)	.77949	1.00000	.67190	
<i>RANDE</i>	15,9 (2,9)	.71386	.67190	1.00000	
<i>RANDO</i>	20,8 (2,9)	.56161			
<i>RANT</i>	16,3				

Tableau 2 : Moyennes (et écarts-types) et corrélations entre performances aux RAN

Les temps de réponse moyens aux RANs alphanumériques (dénominations de lettres RANL et de chiffres RANC) sont moins élevés que ceux relatifs aux dénominations de quantités, représentées par des constellations de dés (RANDE) et de doigts (RANDO). C'est-à-dire que les dénominations de lettres et de chiffres sont réalisées plus rapidement (14,6 et 13,9 secondes en moyenne) que les dénominations de dés et de doigts, qui sont réalisées plus lentement (15,9 et 20,8 secondes en moyenne).

Toutefois, les fortes corrélations que l'on relève entre les différentes RANs justifient leur regroupement en une valeur unique, que l'on appellera RAN total (ou RANT). Celle-ci permettra de prendre en compte la performance globale des différentes dénominations dans les traitements ultérieurs.

Les comparaisons de quantités (CQ) tirées du logiciel E-Run

Comme explicité dans la partie méthodologie, seuls les temps de réponses (TR) ont servi à l'analyse statistique puisque le nombre de réponses erronées est très faible.

Pour chaque mode de représentation (dé, doigt et chiffre), chaque participant a répondu à 20 items, soit 60 items. Les analyses ont porté sur les effets de distance : 1, 2, 3 et 4. Nous avons calculé les différences de 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 (Annexe n°5). Cette analyse a montré que les TR ne variaient pas entre une paire et sa paire inverse (p. ex. 2-3 et 3-2). Les moyennes des paires ont été fusionnées et donc traitées indépendamment de leur ordre de présentation.

Nous avons ensuite regroupé toutes les données relatives à la même distance (p. ex. pour la distance 1 : les comparaisons 1-2, 2-3, 3-4 et 4-5). Une analyse de variance à deux facteurs a été conduite : les distances (1, 2, 3 et 4 regroupées) par rapport aux modalités de présentation (chiffres, dés, doigts).

De cette épreuve, deux données ont été extraites pour chaque participant :

- d'une part, la pente (appelée aussi coefficient de régression) associée à l'effet de distance (explicité précédemment) ;
- d'autre part, l'intercepte (appelé aussi ordonnée à l'origine).

Le tableau 3 ci-après présente les temps de réponses moyens (en millisecondes) selon l'effet de distance et l'effet des modalités de présentation des quantités (constellations de dés, de doigts, ou chiffres arabes) et fournit également le résultat global des analyses avec les moyennes.

Le détail des performances individuelles de chacun des 31 participants est rapporté dans un tableau en Annexe n°5.

<i>Distance</i>	<i>Dés</i>	<i>Doigts</i>	<i>Chiffres</i>	<i>Moyennes</i>
<i>1</i>	595	912	552	686
<i>2</i>	521	873	514	636
<i>3-4</i>	494	825	492	604
<i>Moyennes</i>	537	870	519	642

Tableau 3 : Moyennes des temps de réponses (en ms) en fonction des distances entre quantités (1, 2 ou 3-4) et des modalités de présentation (Dés, Doigts ou Chiffres)

L'effet des modalités de présentation est significatif, $F(2, 60) = 100,32$; $p < .0001$: les comparaisons de doigts sont les plus lentes (avec 870 millisecondes en moyenne). Elles sont suivies par les comparaisons de constellations de dés (avec 537 millisecondes en moyenne). Les comparaisons les plus rapides sont celles confrontant deux chiffres (avec 519 millisecondes en moyenne).

L'effet de distance est également significatif, $F(2, 60) = 19,24$, $p < .0001$: sous les trois modalités, les temps de réponse diminuent en fonction de la distance ($F(2, 60) = 19,24$, $p < .0001$). L'absence d'interaction atteste que cette diminution est de même ordre sous les trois modalités de présentation. Les tendances linéaires sont significatives sous les modalités dés et doigts ($p < .0001$) et tendancielle sous la modalité chiffres ($p = .07$).

En d'autres termes, les temps de réponses diminuent significativement et linéairement en fonction de la distance entre quantités présentées. La question soulevée est celle de l'éventuel impact des différences individuelles de pentes et d'intercepte sur les résultats aux opérations et en résolution de problèmes, nos variables dépendantes.

B. Résultats aux épreuves constituant les variables dépendantes (VD)

Performances au French kit (FK)

Les performances individuelles aux différentes épreuves du French kit apparaissent en Annexe 6.

Le tableau 4 ci-après rapporte les moyennes, les déviations standards et les corrélations des résultats.

	<i>Moyennes</i>	<i>FK1</i>	<i>FK2</i>	<i>FK3</i>	<i>FK4</i>	<i>FKT</i>
<i>FK1</i>	13,29 (4,7)	1.00000	.84975	.75234	.77141	.92787
		p<.000	p<0.000	p<0.000	p<0.000	p<0.000
<i>FK2</i>	12,32 (5,04)	.84975	1.00000	.61807	.70062	.86617
		p<0.000	p<.000	p<0.000	p<0.000	p<0.000
<i>FK3</i>	17,35 (6,4)	.75234	.61807	1.00000	.77631	.89124
		p<0.000	p<0.000	p<.000	p<0.000	p<0.000
<i>FK4</i>	17,71 (5,7)	.77141	.70062	.77631	1.00000	.90872
		p<0.000	p<0.000	p<0.000	p<.000	p<0.000
<i>FKT</i>	60,68 (19,6)					

Tableau 4 : Moyennes (et déviations standards SD) aux différentes épreuves du French Kit ; et corrélations entre les résultats aux épreuves.

Les performances sont très fortement corrélées (toutes à au moins $p < .0001$), ce qui justifie la construction d'un score global (regroupé sous FK total ou FKT) dont les corrélations aux autres épreuves attestent qu'il résume très correctement les résultats à l'ensemble des sous-épreuves.

Ce FKT permettra de prendre en compte la performance globale aux différentes opérations dans les traitements ultérieurs.

Performances à la résolution de problèmes (RP)

Le tableau 5 ci-après rapporte les performances individuelles à l'épreuve de résolution de problèmes, ainsi que les moyenne, variance, écart-type et quartiles.

Sujets	Problèmes résolus /10
1	0
2	4
3	3
4	6
5	3
6	2
7	6
8	3
9	2
10	2
11	2
12	4
13	3
14	1
15	1
16	5
17	2
18	3
19	2
20	2
21	4
22	1
23	1
24	3
25	4
26	3
27	7
28	2
29	1
30	2
31	0

Moyenne	2,7
Variance	2,9
Ecart-type	1,7
Q1	2
Q3	3,5
Médiane	2

Tableau 5 : Performances individuelles à l'épreuve de résolution de problèmes

Les performances à cette épreuve sont faibles avec une moyenne des scores à 2,71 sur 10 problèmes présentés et une déviation standard à 1,69. En effet, les performances obtenues à cette épreuve sont faibles, et ce malgré le caractère élémentaire des problèmes présentés.

Le résultat le plus élevé parmi nos participants est de 6 problèmes correctement résolus, tandis que le résultat le moins bon est de 0 problème correctement résolu sur 10.

Deux hypothèses pourraient expliquer ces faibles résultats. La première les expliquerait par la limitation du temps dont disposaient les participants. La seconde hypothèse serait le manque d'entraînement des participants à réaliser manuellement les techniques opératoires.

Au total, nous disposons d'une performance globale aux RANs (RANT) et de deux données en comparaisons de quantités (pente et intercepte), qui constituent nos variables indépendantes. S'y ajoutent comme variables dépendantes les performances globales au French kit (FKT) et le score en résolution de problèmes.

Ces données permettent de conduire des analyses de régression dans lesquelles les deux variables indépendantes sont introduites en vue de déterminer leur éventuel impact et leur poids dans la performance : 1) aux opérations seules (FKT) ;

2) en résolution de problèmes (RP) seule ;

3) en épreuves de FKT et de RP combinées.

C. Analyses de régression :

Ces analyses de régression nous permettent de répondre à notre question initiale : les performances aux deux épreuves RAN et CQ contribuent-elles à prédire les résultats aux opérations et en résolution de problèmes, et, si oui, avec quel poids ?

Prédire les performances aux opérations

Nous avons réalisé trois analyses de régression destinées à évaluer le caractère prédictif ou non des trois effets de distance : celui relatif aux doigts, aux dés puis aux chiffres.

La première analyse évalue l'éventuel impact des performances digitales (RAN total et comparaisons de configurations digitales) sur les performances en calcul (résultat du French kit total). Le modèle global est significatif et explique 24% de la variance (ajusté 16% ; $p < .05$).

La deuxième analyse évalue la contribution des performances aux comparaisons de dés (RAN total et comparaisons de configurations de dés) sur les performances en calcul (résultat du French kit total). Le modèle global est également significatif et explique 38% de variance (ajusté 22% ; $p < .02$).

La troisième analyse porte sur l'éventuel impact des chiffres (RAN total et comparaisons de quantités arabes) sur les performances en calcul (résultat du French kit total) : le modèle global explique 24% de la variance (ajusté 16% ; $p = .053$ tendanciel).

Au total, les trois effets de distance contribuent significativement aux performances en calcul des opérations des adultes. Cette contribution est modeste, puisqu'elle se situe à la limite de la significativité avec les comparaisons de chiffres. Ce sont les comparaisons de dés qui fournissent la meilleure prédiction.

Prédire les performances à la résolution de problèmes

La même démarche a été suivie en vue d'étudier l'éventuelle contribution des performances associées à l'effet de distance sur la résolution de problèmes. Pour cela, les trois analyses de régression similaires à celles des opérations ont été conduites. Cependant, aucune d'entre elles ne met en évidence une contribution significative :

- $R^2 = .20$ avec les doigts ($p = .1$) ;
- $R^2 = .18$ avec les dés ($p = .15$) ;
- $R^2 = .22$ avec les chiffres ($p = .08$).

En conclusion, les contributions des performances en comparaisons de quantités (sous diverses modalités) sur la résolution de problèmes sont faibles, et au mieux, tendanciennes.

Prédire les performances aux opérations et à la résolution de problèmes combinées

Ensuite, nous avons conduit trois autres analyses de régression en introduisant à chaque fois les performances en calcul (résultats des opérations du French kit), de manière à évaluer si cette variable apporte une contribution spécifique en résolution de problèmes ou non. Ces analyses montrent que tel est bien le cas car dans les trois analyses, le R^2 devient proche de .50 (et donc explique 50% de variance) ($p < .001$).

Pour conclure, les performances en calcul contribuent significativement à la résolution de problèmes, contrairement aux performances en comparaisons de quantités, symboliques ou non, et aux performances en dénomination (RAN) qui n'y contribuent pas ou très peu.

Discussion

L'objectif de cette partie est de faire une synthèse des résultats obtenus et de les comparer aux informations théoriques détaillées en première partie. Cela permettra ainsi de répondre à la problématique et d'exposer les apports de cette étude. Pour cela, nous rappellerons succinctement les données de littérature et les conditions de passation des différents tests. Ensuite nous interpréterons les résultats afin de les mettre en relation avec les hypothèses initiales. Nous détaillerons par la suite les portées de l'étude puis ses limites et ses faiblesses liées à la méthodologie. Enfin, nous ouvrirons des perspectives en lien avec le sujet d'étude en vue de futures recherches.

a. Rappel des données de la littérature

Les données de la littérature ont mis en évidence l'existence de capacités très précoces d'évaluation approximative des quantités (Mazzocco et al., 2011). Toutefois, il existe des différences individuelles dans la précision du traitement des quantités et ces différences pourraient être associées à des différences individuelles ultérieures de performances en mathématiques (Halberda et al., 2008). Dans plusieurs publications, les habiletés numériques de base sont évaluées grâce à des épreuves élémentaires testant le système approximatif ou précis du nombre par des épreuves de comparaisons de quantités (jetons, dés, dominos) ou de chiffres (Halberda et al., 2012; Halberda & Feigenson, 2008). Les habiletés dites de haut niveau sont, elles, abordées grâce à deux catégories d'épreuves : le traitement d'opérations et la résolution de problèmes arithmétiques. Ces deux activités, bien que relevant toutes deux de l'arithmétique, sont relativement indépendantes chez les élèves de l'école élémentaire et du collège (Muth, 1984). L'éventuel impact des habiletés numériques de base sur les performances ultérieures en arithmétique ou en mathématiques, n'a pas ou peu été envisagé (Park et al., 2016). Seules quelques études ont abordé cette question, un peu plus au niveau scolaire que chez les adultes (Bardi, 2014). Notre mémoire est une contribution exploratoire à leur étude pour préciser ces relations.

L'objectif de notre étude était de répondre à cette problématique en vérifiant si les relations existantes entre activités arithmétiques de haut niveau et de bas niveau, observées dans la littérature chez les enfants et les adolescents, se généralisent chez les adultes en utilisant des situations de base nouvelles, comme des comparaisons de configurations de doigts, de dés et de chiffres.

Pour rappel, notre questionnement initial est le suivant : Existe-t-il encore chez l'adulte un lien entre les performances aux habiletés numériques élémentaires (comparaisons de petites quantités, de 1 à 5,

présentées sous différentes modalités) et les performances aux habiletés numériques complexes ; la résolution d'opérations d'une part et la résolution de problèmes d'autre part ?

b. Rappel de la passation de notre étude

Pour répondre à cette problématique, nous avons procédé à la passation d'un protocole comportant quatre épreuves. La combinaison de ces différentes épreuves a été choisie et établie en vue d'évaluer les compétences numériques de base (dénomination et comparaisons de petites quantités) et les compétences numériques de haut niveau.

L'épreuve du RAN évalue la dénomination rapide de lettres, chiffres, couleurs, doigts, jetons et dés. Elle fournit des informations concernant les vitesses de reconnaissances de formes visuelles, d'accès en mémoire aux formes lexicales des noms de nombres et d'articulation (Hornung et al., 2017; Van Rinsveld et al., 2020).

L'épreuve informatisée E-Run évalue l'exactitude et la vitesse de réponse à des comparaisons de petites quantités (de 1 à 5). Ces quantités sont présentées sous forme de chiffres, de configurations de dés et de doigts. L'épreuve permet de recueillir des temps de comparaisons en fonction des tailles des quantités et des configurations ou chiffres. Ces temps ont été calculés en fonction des distances 1 (comparaison 1-2, 2-3, 3-4 et 4-5), 2 (1-3, 2-4, 3-5) et 3 (1-4 et 2-5) et 4 (1-5).

L'épreuve du French Kit évalue la précision et la vitesse de résolution d'opérations arithmétiques (additions, soustractions et multiplications).

L'épreuve de résolution de problèmes, élaborée par nous-même, teste la compréhension d'énoncés arithmétique et la résolution en temps limité.

Ces deux dernières épreuves sont cotées selon les réussites par opération (French Kit) et pour l'ensemble des problèmes (score sur 10).

c. Interprétation des résultats et mise en relation avec les hypothèses

Pour rappel, notre première hypothèse était celle d'une corrélation entre comparaisons de petites quantités présentées (sous différentes modalités) et traitement d'opérations.

Notre seconde hypothèse était celle d'une éventuelle association entre performances aux comparaisons de petites quantités (sous différentes modalités) et résolution de problèmes.

Enfin, notre hypothèse générale était que les performances recueillies aux épreuves de base des adultes tout-venant contribueraient à prédire leurs résultats aux opérations élémentaires et/ou en résolution de problèmes.

Pour confirmer ou non ces hypothèses, nous avons réalisé des analyses de corrélation et de régression sur les données recueillies. Ces analyses permettent d'évaluer la part de variance expliquée par les performances aux comparaisons et en dénomination, considérées comme épreuves de base, en rapport avec les performances aux opérations d'une part, puis aux problèmes d'autre part. Une dernière analyse a intégré les performances aux opérations pour estimer leur poids sur les performances en résolution de problèmes.

Les résultats montrent que les performances aux épreuves RAN et les pentes et interceptes aux configurations de doigts, de dés ou aux chiffres (= effet de distance) expliquent une part modeste (entre 20 et 35%) mais significative de variance ($p < 0,05$) en traitement des opérations.

En revanche, ces performances en dénomination et en comparaison de quantités n'apportent aucune contribution significative en résolution de problèmes ($R^2 = 20$ maximum). L'introduction dans les régressions des performances aux opérations rend significatives les régressions ($R^2 = 0,5$; $p < ,001$).

Les performances en calcul contribuent à prédire les résultats en résolution de problèmes.

Ainsi, nos résultats sont conformes à la première hypothèse attendue et vérifient le lien existant entre comparaison de petites quantités et résolution d'opérations. Les effets de distance montrent, de manière significative, que les performances en comparaison de quantités (présentées sous chiffres arabes, constellations de dés et patrons digitaux) restent prédictives statistiquement des performances en calcul de nos participants adultes.

Notre seconde hypothèse est infirmée puisque les résultats des comparaisons de petites quantités ne contribuent pas significativement aux scores obtenus en résolution de problèmes. Aucune des trois

présentations de quantités n'a mis en évidence une corrélation entre comparaison de quantités et résolution de problèmes.

Cette différence entre hypothèse et résultats était inattendue. Elle peut au moins en partie s'expliquer par l'épreuve de résolution de problèmes qui s'est révélée difficile et coûteuse pour la majorité de nos participants. Pour rappel, nos explications supposées pouvant impacter les faibles résultats de cette épreuve sont les suivantes :

- La première hypothèse expliquerait ces résultats par la limitation de temps dont disposaient les participants pour réaliser l'épreuve de résolution ;
- La seconde hypothèse serait le manque d'entraînement des participants à réaliser manuellement les techniques opératoires.

Ainsi, seule une partie de notre hypothèse générale se confirme. En effet, les performances recueillies aux épreuves de base passées par les adultes tout-venant contribuent à prédire leurs résultats aux opérations élémentaires, mais ne contribuent pas à prédire ceux en résolution de problèmes.

d. Objectifs et portée de l'étude

Notre étude permet de mieux comprendre l'intérêt des performances aux habiletés numériques élémentaires pour les traitements des opérations simples, encore chez les adultes. Elle suggère l'utilité de faire travailler ces habiletés numériques élémentaires chez les enfants ou les adultes en rééducation orthophonique, dans le but d'améliorer leurs performances en résolution d'opérations pour la suite de leurs apprentissages ou de leurs expériences en mathématiques.

En l'état, il s'agit d'une hypothèse dans la mesure où les analyses de corrélation et régression ne permettent pas d'affirmer l'existence d'une relation causale. Elles contribuent néanmoins à suggérer l'intérêt qu'il y aurait à mettre en place une recherche avec intervention, seule susceptible d'étayer l'existence d'une relation causale.

En revanche, l'impact des habiletés numériques élémentaires étant négligeable sur la résolution de problèmes (contrairement aux performances en calculs qui contribueront significativement à prédire ces résultats), un travail spécifique devra être consacré à cette résolution de problèmes.

Cependant, les résultats suggèrent qu'un travail axé sur les résolutions d'opérations arithmétiques aurait vraisemblablement un impact positif sur la résolution de problèmes. Là encore une étude d'intervention serait utile.

e. Limites et biais de notre étude

Après la réalisation de cette étude, nous avons réalisé que certains points auraient pu être améliorés pour obtenir des résultats plus probants concernant les hypothèses posées initialement. Nous allons les exposer ci-dessous en donnant des pistes d'amélioration quand cela est possible.

La première limite de notre étude concerne l'échantillon évalué qui est assez restreint et peut ne pas représenter correctement la population globale. La taille de l'échantillon était limitée par différents motifs : difficulté à recruter davantage d'adultes volontaires et manque de temps pour réaliser les passations. De plus, les conditions sanitaires liées à la Covid n'ont pas facilité le recrutement des participants.

La population ciblée par notre enquête aurait pu être davantage élargie afin d'améliorer la puissance statistique et donc être plus représentatif de la population adulte. Cependant, les résultats étant au moins partiellement significatifs, notre analyse reste intéressante pour la population étudiée.

De plus, l'échantillon sélectionné pourrait être amélioré avec une répartition plus équitable du nombre de participants de sexe masculin et de sexe féminin. On suppose qu'il pourrait exister des différences de performances en compétences mathématiques selon les genres. Pour rappel, notre échantillon d'adultes tout-venant se compose de 21 femmes et de 10 hommes. Mais cet échantillon permet tout de même de conclure significativement aux effets des modalités. Les résultats peuvent être généralisés à d'autres adultes tout-venant.

Une autre limite à prendre en compte est la variabilité interindividuelle. En effet, tous les participants ne sont pas confrontés aux chiffres de la même façon dans leur quotidien. Certains individus peuvent se saisir d'un outil davantage que d'autres. En effet, parmi les personnes interrogées, certaines ont une formation et une pratique professionnelles en lien avec les habiletés numériques. On remarque notamment des performances en résolution de problèmes meilleures chez notre sujet qui est comptable que chez nos autres sujets, puisqu'il a gardé des habitudes de calculs nettement supérieures à la moyenne des autres participants. Bien que les solutions possibles ou pistes d'amélioration pour contrer ce biais ne soient pas idéales, on pourrait inclure davantage de critères d'inclusion (par exemple :

l'échantillon doit comporter autant de participants exerçant une profession scientifique) ou d'exclusion (par exemple : les participants ne doivent pas exercer telle et telle profession scientifique).

Les résultats à l'épreuve de comparaisons de quantités, notamment les quantités présentées sous configurations digitales, sont à nuancer par le fait que les doigts sont davantage un outil utile qu'un outil indispensable (Van Rinsveld et al., 2020). Ils peuvent être utilisés comme outil facilitateur chez certains, mais peuvent très bien ne pas être utilisés chez d'autres. Cela peut créer de légères différences de performance en comparaison de quantités chez les sujets adultes. De plus, le caractère culturel de l'utilisation des doigts (Guedin et al., 2018) permet d'appliquer nos conclusions d'analyses uniquement aux sociétés occidentales, au sein desquelles l'utilisation des doigts est mise en place lors du développement de la cognition mathématique.

Concernant la qualité méthodologique, le logiciel E-Run 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 participants, a été évité par l'utilisation des mêmes consignes simples pour tous (les sujets n'avaient que 2 touches sur lesquelles appuyer).

En revanche, la passation du protocole RAN a été mesurée et cotée sous ma seule supervision. L'erreur étant humaine, il aurait pu être intéressant de procéder à des enregistrements audio ou vidéo afin de permettre une vérification suite à la notation, et ainsi contrer ce biais d'enquêteur.

Les données collectées par notre étude pourraient être complétées par une épreuve de résolution de problèmes normée et étalonnée pour s'assurer que notre non-corrélation entre performances aux comparaisons de petites quantités (sous différentes modalités) et résolution de problèmes ne soit pas liée aux modalités de passation de notre épreuve.

Pour terminer avec les biais méthodologiques, l'épreuve du French Kit n'est pas un protocole normé en France. Afin d'éviter ce biais, nous aurions pu utiliser un test normé et étalonné dans notre pays pour pouvoir comparer les résultats obtenus par nos participants aux résultats moyens relevés par les chercheurs ayant mis au point cette épreuve.

f. Perspectives

Ce travail de mémoire pourrait être repris et poursuivi dans les années à venir selon différents axes.

Les recherches futures viseront à déterminer la période d'émergence de la relation entre habiletés numériques élémentaires et complexes chez l'enfant tout-venant, suite à nos résultats obtenus chez les adultes. Pour cela, le même protocole que pour les adultes (avec les mêmes situations telles que comparaisons de configurations de doigts, de dés et de chiffres) serait à proposer à une population de jeunes élèves.

Il serait aussi intéressant de compléter cette recherche en étudiant davantage les capacités numériques (traitement d'opérations) prédisant la résolution de problèmes, afin de mieux comprendre leur rôle plausible sur les difficultés rencontrées face à des situations du quotidien nécessitant un raisonnement logique ou arithmétique des personnes souffrant de troubles de la cognition mathématique.

Enfin, notre travail pourrait être poursuivi vers une recherche d'investigation pour axer correctement la rééducation de ces patients souffrant de troubles de cognition mathématique, qui rencontrent des difficultés lors de situations scolaires ou du quotidien nécessitant un raisonnement logique ou arithmétique. Pour mettre en place une prise en charge orthophonique la plus adaptée aux besoins et au fonctionnement des patients, il faudra établir un protocole précis de rééducation des habiletés complexes (sens des opérations) et ainsi noter l'effet des habiletés simples.

Conclusion

La présente étude s'inscrit dans une démarche souhaitant améliorer la compréhension du fonctionnement cognitif normal, afin d'éclairer celui de la dyscalculie notamment.

En effet, l'objectif de notre projet était de mieux comprendre l'utilité de travailler les habiletés numériques élémentaires avec un enfant ou un adulte en rééducation orthophonique dans le but d'améliorer ses performances en résolution d'opérations et de problèmes arithmétiques pour la suite de ses apprentissages et de ses expériences en mathématiques.

Nos recherches ont souligné la présence d'une corrélation significative entre performances aux habiletés numériques de base (dénomination et comparaison de quantités) et en résolution d'opérations, chez nos sujets adultes. Ces résultats laissent penser qu'une meilleure orientation des prises en soins pourra être mise en œuvre lors des rééducations orthophoniques.

Ces bases pourront ensuite soutenir de futurs travaux portant sur des sujets pathologiques, recherches indispensables pour la rééducation des troubles logico-mathématiques qui reste encore trop peu mise en œuvre cliniquement.

Références bibliographiques (A.P.A. 7^{ème} version)

- Bardi, A.-M. (2014). L'OCDE évalue les compétences des adultes. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 65, 16-19. <https://doi.org/10.4000/ries.3659>
- Fayol, M. (2018). *L'acquisition du nombre* (3^e éd.). Puf.
- Geary, D. C. (2010). Mathematical disabilities : Reflections on cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 130-133. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.008>
- Guedin, N., Thevenot, C., & Fayol, M. (2018). Des doigts et des nombres. *Psychologie Française*, 63(4), 379-399. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2017.07.001>
- Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the « number sense » : The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, 44(5), 1457-1465. <https://doi.org/10.1037/a0012682>
- Halberda, J., Ly, R., Wilmer, J. B., Naiman, D. Q., & Germine, L. (2012). Number sense across the lifespan as revealed by a massive Internet-based sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11116-11120. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200196109>
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M., & Feigenson, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, 455(7213), 665-668. <https://doi.org/10.1038/nature07246>
- Hornung, C., Martin, R., & Fayol, M. (2017). General and Specific Contributions of RAN to Reading and Arithmetic Fluency in First Graders : A Longitudinal Latent Variable Approach. *Frontiers in Psychology*, 8, 1746. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01746>
- Inglis, M., Attridge, N., Batchelor, S., & Gilmore, C. (2011). Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement : But only in children. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(6), 1222-1229. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0154-1>
- Lafay, A., Saint-Pierre, M.-C., & Macoir, J. (2013). Développement des systèmes numériques non symboliques et prédicteurs de réussite mathématique. *Glossa*, 112, 1-17.
- Lindskog, M., Winman, A., & Juslin, P. (2014). The association between higher education and approximate number system acuity. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00462>
- Mazocco, M. M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Preschoolers' Precision of the Approximate Number System Predicts Later School Mathematics Performance. *PLoS ONE*, 6(9), e23749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023749>

- Ménissier, A. (2007). *Tout compte fait [Multimédia multisupport] : 24 activités pour une maîtrise du calcul réfléchi : Développement des habiletés numériques et gestion des compétences logico-arithmétiques* (Vol. 1-2). OrthoEdition.
- Ménissier, A. (2014). 18. Dyscalculie. In *TDA/H - Trouble Déficit de l'Attention/Hyperactivité* (p. 141-146). Dunod; Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/dunod.bange.2014.01.0141>
- Muth, K. D. (1984). *Solving Arithmetic Word Problems : Role of Reading and Computational Skills*. 76(2), 6.
- Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(19), 7457-7462. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402239101>
- Nys, J., Ventura, P., Fernandes, T., Querido, L., Leybaert, J., & Content, A. (2013). Does math education modify the approximate number system? A comparison of schooled and unschooled adults. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(1), 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.01.001>
- Park, J., Bermudez, V., Roberts, R. C., & Brannon, E. M. (2016). Non-symbolic approximate arithmetic training improves math performance in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 152, 278-293. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.011>
- Park, J., & Brannon, E. M. (2014). Improving arithmetic performance with number sense training : An investigation of underlying mechanism. *Cognition*, 133(1), 188-200. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.06.011>
- Penner-Wilger, M., Fast, L., LeFevre, J.-A., Smith-Chant, B. L., Smith-Chant, B., Skwarchuk, S.-L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (s. d.). *The Foundations of Numeracy : Subitizing, Finger Gnosia, and Fine Motor Ability*. 7.
- Price, G. R., Mazzocco, M. M. M., & Ansari, D. (2013). Why Mental Arithmetic Counts : Brain Activation during Single Digit Arithmetic Predicts High School Math Scores. *Journal of Neuroscience*, 33(1), 156-163. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2936-12.2013>
- Price, Gavin R., Palmer, D., Battista, C., & Ansari, D. (2012). Nonsymbolic numerical magnitude comparison : Reliability and validity of different task variants and outcome measures, and their relationship to arithmetic achievement in adults. *Acta Psychologica*, 140(1), 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.02.008>
- Pry, R. (2017). Le trouble spécifique de l'apprentissage avec déficit du calcul : Entre traitement des quantités et traitement de l'espace. *Enfance*, 2017(02), 277-281. <https://doi.org/10.4074/S0013754517002075>
- Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia.

Neuropsychologia, 47(13), 2859-2865. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009>

Scanf, F. L. (2018). *Impact d'un entraînement en maternelle des praxies digitales et de la ligne numérique sur le développement des compétences liées au nombre*. 117.

Thevenot, C., & Perret, P. (2009). Le développement du raisonnement dans la résolution de problèmes : L'apport de la théorie des modèles mentaux. *Developpements*, n° 2(2), 49-56.

Van Rinsveld, A., Hornung, C., & Fayol, M. (2020). Finger Rapid Automated Naming (RAN) predicts the development of numerical representations better than finger gnosis. *Cognitive Development*, 53, 100842. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2019.100842>

Zebian, S., & Ansari, D. (2012). Differences between literates and illiterates on symbolic but not nonsymbolic numerical magnitude processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(1), 93-100. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0175-9>

Annexes

Annexe n°1 :

Exemples des épreuves de dénomination du RAN

E	I	U	A	O	U	I	E
U	E	A	I	O	I	A	U
I	A	E	O	U	A	E	O
A	U	O	E	I	U	O	I
E	A	I	O	A	O	E	U

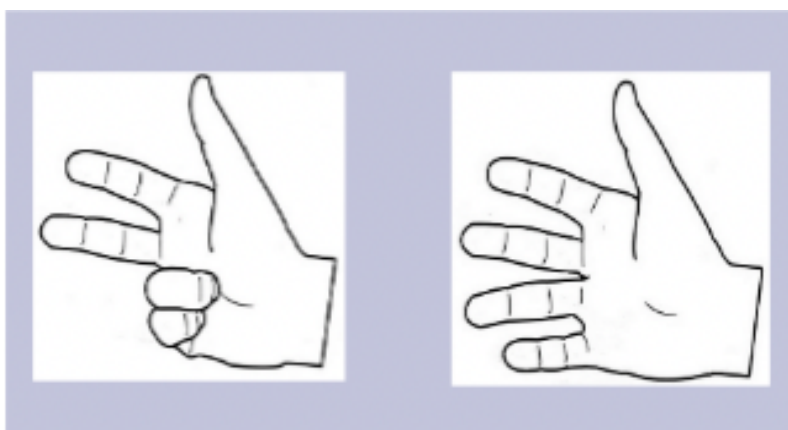


Annexe n°2 :

Formats des quantités présentées sur E-RUN



Exemples des comparaisons homogènes



Annexe n°3 :

Exemple d'additions tirées du French Kit

8	2	12	43	67	23	83	63	19	48
3	51	42	71	95	74	14	99	57	17
7	8	53	11	52	8	19	5	83	39
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
19	69	6	30	50	75	39	52	17	81
8	40	67	98	42	17	90	45	55	83
27	44	38	59	13	19	82	91	58	42
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Exemple d'opérations tirées du French Kit

89	52	60	51	85	18	49	83	42	68
-60	-48	-39	-28	-23	-11	-37	-57	-23	-47
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
73	41	69	29	16	63	60	52	85	36
x 8	x 5	x 3	x 9	x 8	x 8	x 4	x 4	x 6	x 7
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Annexe n°4 : Exemple de problèmes à résoudre

I. Je dispose d'une somme. Je calcule que pour m'acheter 4 livres il me manque 5€50. Sachant que chaque livre coûte 14€50, calculez la somme que j'ai en poche.

II. Le chargement d'un camion est composé de 35 caisses pesant chacune 54,5Kg et de 40 caisses pesant 35Kg. Quelle masse peut-on ajouter pour que la charge de ce camion atteigne 5 tonnes?

III. Quelle est la largeur d'un terrain rectangulaire de basket dont la surface est de 312,50m² et la longueur 25m ?

IV. Combien remplira-t-on de verres de 8cL chacun avec 6 packs de 3 bouteilles, chaque bouteille contenant 75cL ?

V. Combien vais-je payer un billet d'avion coûtant 412€ si je bénéficie d'une réduction de 25%?

VI. Aujourd'hui, c'est le jour de la compétition des champions. Six personnes sont sélectionnées : Marie, Max, Laura, Audrey, Laurie et Jean-François. Il leur faut effectuer 42,195 kilomètres chacun.

Sachant que : Audrey effectue 17 km, Marie parcourt le double plus 6,75 km, Laura réalise 7,29 km de moins que Max, Laurie accomplit 2,23 km de plus qu'Audrey, Max court 9,27 km de moins que Marie et Jean-François 8 km de moins qu'Audrey.

Quelle distance reste-t-il à parcourir pour chaque concurrent ?

Audrey :

Marie :

Laura :

Laurie :

Max :

JF :

Annexe n°5 : Performances individuelles des sujets à l'épreuve de comparaison E-Run (en millisecondes)

F = comparaisons de quantités digitales, D = comparaisons de quantités de dés, N = comparaisons de quantités arabes

Sujets	F un deux	D un deux	N un deux	F un trois	D un trois	N un trois	F un quatre	D un quatre	N un quatre	F un cinq	D un cinq	N un cinq	F deux trois	D deux trois	N deux trois	F deux quatre	D deux quatre	N deux quatre	F deux cinq	D deux cinq	N deux cinq	F trois quatre	D trois quatre	N trois quatre	F trois cinq	D trois cinq	N trois cinq	F quatre cinq	D quatre cinq	N quatre cinq
1	2009	697	1037	1266	893	1293	1037	546	611	1033	1372	911	1225	1084	2110	1218	704	972	1033	639	646	1522	805	754	1018	938	705	1078	809	770
2	704	484	523	728	411	445	639	473	440	750	473	528	841	518	512	1043	468	496	753	464	445	822	570	545	722	573	543	848	662	401
3	828	441	408	678	348	396	615	376	339	729	378	350	727	547	510	805	398	369	606	376	360	709	566	481	535	634	411	612	670	325
4	1171	983	775	1138	1026	1558	928	735	622	1045	794	759	1193	755	705	1222	608	871	792	746	694	1239	1066	686	1184	930	737	1453	855	831
5	1206	738	572	947	595	477	910	619	459	1137	476	498	872	658	678	1031	575	602	753	619	437	1159	889	685	912	713	517	674	570	689
6	1370	371	401	889	442	525	812	390	441	804	652	385	947	441	415	1153	372	473	634	361	444	1067	581	509	643	479	402	702	628	2396
7	1435	606	513	1153	482	447	1564	510	464	1128	796	587	1443	700	520	2244	548	540	955	662	472	1397	630	581	1032	530	489	1206	841	557
8	2819	841	640	1253	709	763	1190	746	822	1270	680	611	1509	652	547	1341	813	666	2452	1374	505	1518	991	573	1541	1764	477	1146	920	630
9	701	389	447	675	353	433	638	417	353	539	343	459	653	847	383	702	403	445	501	460	1173	1257	526	423	475	534	448	654	656	501
10	661	465	418	682	405	401	973	387	409	729	376	385	748	428	515	986	464	453	551	406	426	742	787	520	674	537	419	911	464	422
11	897	589	526	771	544	899	526	543	669	921	521	554	710	630	626	847	645	540	588	567	588	731	764	745	569	628	635	627	598	575
12	809	430	456	1052	412	435	722	484	697	641	389	533	803	440	439	751	443	433	807	382	452	842	608	450	599	446	527	730	481	514
13	859	800	416	789	412	415	621	397	397	767	424	428	764	417	453	778	430	400	659	410	420	744	406	541	683	546	391	745	500	376
14	1272	413	389	893	301	309	803	431	333	690	305	282	808	529	385	655	291	550	676	345	341	816	736	401	690	541	363	557	554	376
15	1078	549	476	903	500	491	995	617	460	1058	461	421	825	541	574	1219	469	489	889	492	607	848	591	498	792	637	461	886	496	473
16	921	540	587	829	377	407	869	368	397	547	332	332	658	526	435	699	392	458	480	430	377	701	557	636	589	405	400	745	531	434
17	878	504	517	859	529	658	1047	555	601	981	476	496	802	636	1837	1234	620	779	728	534	595	1550	867	688	868	602	733	1147	778	638
18	785	793	524	852	629	625	565	500	820	527	486	526	692	544	602	729	609	602	809	547	524	615	1050	811	595	652	673	580	689	530
19	784	392	465	538	338	370	633	358	322	531	346	339	546	461	385	708	399	329	517	360	363	599	376	442	606	519	369	503	735	409
20	787	482	366	833	309	323	948	341	346	520	304	332	491	314	441	648	364	493	465	371	364	641	590	422	694	453	346	481	491	452
21	1151	390	495	727	324	492	1223	374	406	679	335	399	1094	587	455	987	342	400	680	367	449	1010	555	647	787	411	477	594	434	578
22	825	362	465	831	405	484	1137	363	380	576	357	403	723	415	434	896	401	449	680	419	390	1089	487	393	736	628	446	792	601	414
23	964	447	407	1011	421	408	512	411	386	593	386	397	736	373	379	568	436	371	1915	372	356	781	491	450	1562	390	1073	480	862	437
24	799	1113	322	1048	570	318	490	341	331	524	408	366	581	411	1231	628	353	357	472	443	309	483	514	332	646	316	405	713	346	436

25	836	542	542	1038	610	441	980	412	614	1652	431	518	1002	517	390	893	564	522	976	419	449	1166	552	402	849	474	392	1039	599	661
26	1009	538	440	730	347	451	787	396	585	668	454	1488	909	452	412	831	416	426	600	677	751	849	986	478	824	623	443	749	686	538
27	1276	424	402	793	403	419	788	418	1024	619	412	392	711	460	366	881	369	383	1130	347	419	917	419	394	665	457	449	658	481	453
28	839	370	343	790	397	372	573	957	370	396	355	401	681	456	504	414	591	367	693	415	376	494	598	405	757	522	398	660	620	349
29	988	460	620	947	514	443	797	821	449	545	386	404	962	427	689	769	441	449	1302	966	577	898	470	641	889	532	981	884	526	591
30	1150	663	495	1412	520	374	1095	572	382	1263	459	522	936	638	494	1180	611	364	1337	469	408	1242	724	567	1051	642	438	1138	548	769
31	1005	569	338	637	523	440	848	432	340	598	402	376	783	520	373	691	417	459	594	499	369	679	604	380	590	440	424	832	542	357

Annexe n°6 : Performances individuelles aux épreuves du French kit

Sujets	French Kit 1 (réponses)	French Kit 1 (erreurs)	French Kit 2 (réponses)	French Kit 2 (erreurs)	French Kit 3 (réponses)	French Kit 3 (erreurs)	French Kit 4 (réponses)	French Kit 4 (erreurs)
1	2	4	2	1	5	0	5	0
2	14	1	12	3	17	2	17	0
3	10	0	12	0	17	2	20	3
4	27	2	26	2	32	6	27	3
5	12	1	10	1	26	2	18	7
6	15	0	14	0	16	1	17	2
7	16	1	10	4	26	2	26	3
8	16	0	12	3	17	1	18	3
9	14	1	11	2	20	1	19	1
10	12	2	12	0	17	1	14	1
11	11	0	10	3	5	1	12	1
12	10	0	5	0	12	1	17	0
13	21	1	18	2	28	0	29	2
14	13	0	15	0	22	0	16	3
15	16	1	16	2	12	1	18	1

16	15	0	15	0	13	0	13	0
17	11	0	14	0	19	0	17	6
18	19	3	20	1	28	5	24	1
19	10	2	9	1	13	3	17	3
20	11	1	12	0	13	0	17	0
21	17	0	16	0	22	1	20	0
22	13	2	7	5	18	2	13	0
23	10	2	14	0	14	2	14	1
24	14	5	15	3	13	3	18	1
25	16	3	12	0	17	2	16	2
26	12	1	6	2	20	1	16	1
27	19	3	21	0	23	4	34	2
28	13	0	12	0	14	2	15	0
29	9	3	11	0	12	2	12	1
30	9	1	10	1	17	0	19	1
31	5	0	3	1	10	1	11	0

Résumé

Introduction : L'existence de capacités précoces d'évaluation approximative des quantités a été observée, mais cette précision du traitement des quantités diffère selon les individus et peut être associée à des différences individuelles ultérieures de capacité en mathématiques. L'objectif est de vérifier une généralisation des relations entre habiletés numériques élémentaires et complexes chez les adultes. On se demandera s'il existe encore chez l'adulte un lien entre les performances aux habiletés numériques élémentaires et celles aux habiletés complexes.

Matériels et méthodes : Pour cela, notre étude a été menée sur 31 sujets adultes auxquels une passation de protocole évaluant les capacités numériques élémentaires et complexes a été proposée. L'évaluation s'est faite à travers deux épreuves de base : dénomination rapide et comparaison de petites quantités (chiffres, configurations de dés et doigts). Puis deux autres épreuves ont testé les habiletés de haut niveau : résolution d'opérations (additions, soustractions et multiplications) et problèmes arithmétiques.

Résultats : Des analyses statistiques ont été réalisées afin d'évaluer la part de variance expliquée par les performances en dénomination et en comparaison en rapport avec les performances aux opérations puis aux problèmes. Les résultats montrent que les performances en habiletés élémentaires expliquent une part significative de variance en traitement des opérations. Cependant, ces habiletés de base ne contribuent pas ou très peu aux performances de résolution de problèmes. Tandis qu'une dernière analyse a démontré que les performances en calcul contribuaient significativement à la résolution de problèmes.

Conclusion : L'étude suggère l'utilité de travailler les habiletés numériques élémentaires avec les enfants ou adultes en rééducation orthophonique, dans le but d'améliorer leurs performances en résolution d'opérations pour la suite des apprentissages ou expériences mathématiques. En revanche l'entraînement des habiletés numériques de base n'aura pas d'impact significatif en résolution de problèmes, tandis qu'un travail sur les opérations en aura. Ainsi, on pourra axer correctement la rééducation de patients avec troubles de cognition mathématique qui rencontrent des difficultés lors de situations nécessitant un raisonnement logique ou arithmétique.

Mots-clés : adulte, arithmétique, calcul mental, problèmes verbaux, cognition numérique, dénomination rapide, doigts, mathématiques, recherche, résolution de problèmes