

DES PERFORMANCES PERCEPTIVO-TACTILES AUX PERFORMANCES ARITHMÉTIQUES : APPROCHE DÉVELOPPEMENTALE

Catherine DEVIDAL

Médecin de l'Éducation Nationale,
Docteur en Psychologie.
Inspection Académique de la Côte d'Or

Résumé :

Les études sur les troubles du développement des activités numériques, les dyscalculies développementales, ont fait l'objet de beaucoup moins de travaux que leurs correspondants relatifs au langage écrit, les dyslexies. Néanmoins, environ 6% de la population scolaire souffriraient de ce trouble et ce, malgré une intelligence normale. Une étude de la littérature sur les sujets porteurs de troubles arithmétiques chez l'adulte ou chez l'enfant atteste d'une liaison entre certaines performances numériques et des performances gestuelles, notamment digitales. Néanmoins aucune étude développementale n'a été entreprise pour confirmer cette liaison. **L'objectif de la recherche était, non seulement, de comprendre la liaison qui existe entre représentations numérique et digitale, chez des enfants tout venant, mais aussi de voir si cette liaison pouvait être prédictive de certains apprentissages numériques.**

I THEORIE

Du point de vue neuropsychologique, le syndrome de Gerstmann a servi de point de départ à ce travail. Dès 1924, Gerstmann a observé chez une femme de 52 ans, d'intelligence normale, un syndrome comprenant quatre symptômes : une agnosie digitale, une indistinction droite-gauche, une agraphie et une acalculie.

L'agnosie digitale

L'agnosie digitale représente un trouble primitif de reconnaissance et d'orientation des doigts des deux mains et non pas un trouble moteur ou sensitif tactile. D'origine spatiale, elle se caractérise par l'incapacité à distinguer, désigner, nommer et choisir les différents doigts, soit de leurs propres mains soit de celles de l'observateur. Quand l'examineur demande au sujet de déplier un des cinq doigts de sa main, il se trompe, le confond avec un autre, étend un doigt non désigné. Les erreurs sont généralement plus accusées pour les trois doigts centraux que pour le pouce et l'auriculaire.

L'indistinction droite-gauche

Pour distinguer la droite de la gauche, le sujet doit faire appel à des repères visuels ou kinesthésiques. Ce trouble de l'orientation peut ne pas être limité au corps propre

mais se manifester également dans la distinction de la droite de la gauche de l'examineur. Le sujet a du mal à croiser la ligne médiane.

L'agraphie

L'agraphie est liée à une apraxie (praxie : mouvement volontaire dans le but d'exécuter une action) constructive, c'est-à-dire une maladresse majeure pour coordonner les différents gestes nécessaires à la formation des lettres. L'écriture spontanée et sous dictée est plus atteinte que la copie.

L'acalculie

L'acalculie est de type spatial. Les troubles du calcul correspondent surtout en l'incapacité de pouvoir écrire correctement des chiffres dictés, d'arranger des chiffres en colonne directement sur une feuille et de différencier les centaines, les milliers. Toutefois, le patient a aussi perdu certaines notions arithmétiques ; ainsi la soustraction et la division sont habituellement plus déficitaires que l'utilisation des tables de multiplication. Ces symptômes témoignent d'un trouble de l'orientation spatiale.

Du point de vue neuro-anatomique

Du point de vue neuro-anatomique, la lésion associée au syndrome de Gerstmann intéresse la région pariétale inférieure de l'hémisphère dominant, au niveau de l'aire 39 de Brodmann.

Plus récemment, Dehaene et Cohen (1997) présentent le cas d'un malade atteint d'une lésion du cortex pariétal inférieur. Ce patient se trompe une fois sur six dans des épreuves de comparaison où il doit entourer le plus grand de deux nombres (par exemple, il juge que 5 est plus grand que 6). Il échoue également une fois sur cinq dans des tâches de jugement de proximité où la consigne est de déterminer lequel de deux nombres est le plus proche d'un troisième (il énonce, par exemple, que 4 est plus proche de 9 que 5). Les difficultés les plus importantes se trouvent dans les tâches de bissection d'intervalle où ce patient donne souvent des réponses absurdes, telle que le nombre se trouvant entre 10 et 20 est 30. Il échoue trois fois sur quatre dans les soustractions ($9 - 8 = 7$ par exemple).

A l'opposé, ce patient sait parfaitement dire quelle lettre se situe entre A et C ou quel jour vient entre lundi et mercredi. Les connaissances encyclopédiques relatives aux nombres (1789 ou 1515) ne lui posent pas non plus de problème. Il connaît toujours par cœur la plus grande partie des tables de multiplication et arrive toujours à calculer des additions à un chiffre car sa mémoire verbale est intacte.

Dehaene (1997) a étudié le cas d'une autre patiente dont les noyaux gris centraux de l'hémisphère gauche avaient été partiellement détruits. Elle présentait des signes opposés à ceux de M. M.. Elle pouvait comparer deux nombres ou trouver lequel se situait au milieu d'un intervalle. Par contraste, sa mémoire des tables arithmétiques était gravement perturbée et, par conséquent, les multiplications étaient plus échouées que les soustractions dont les résultats ne sont pas appris par cœur à l'école. De même, la récitation de l'alphabet ou des comptines lui était devenue impossible.

Les deux études de cas ci-dessus constituent une double dissociation. Celle-ci suggère l'existence d'une indépendance entre les activités numériques faisant appel à la mémoire verbale et les activités numériques nécessitant la représentation et la manipulation des quantités.

Du point de vue développemental

Du point de vue développemental, hormis le fait que le syndrome de Gerstmann a également été retrouvé chez l'enfant, nous avons retenu une étude plus récente, celle de Rourke (1993). Cet auteur s'est intéressé à des groupes d'enfants âgés de 9 à 14 ans. Il a étudié leurs performances en arithmétique et en lecture. Le premier groupe (G1) présentait des résultats faibles en mathématiques comme en lecture ; le deuxième avait de meilleurs résultats en arithmétique qu'en lecture (G2 : meilleur en maths), avec néanmoins des performances en arithmétique inférieures à la normale. Le troisième groupe s'opposait au deuxième du fait de résultats meilleurs en lecture qu'en arithmétique (G3 : très faible en maths + déficits psychomoteur et perceptivo-tactile). Les enfants du groupe 3 présentaient, par rapport à ceux des groupes 1 et 2, des déficiences significatives dans les domaines psychomoteur et perceptivo-tactile. L'analyse qualitative des troubles arithmétiques des enfants du groupe 3 a mis en évidence des déficiences dans plusieurs domaines :

- 1) Dans l'organisation spatiale : les enfants ne savaient pas ranger les chiffres dans la colonne adéquate lorsqu'ils écrivaient une opération en colonne ;
- 2) ils présentaient des difficultés à placer la virgule dans un nombre décimal. Par ailleurs, ils présentaient une bonne mémoire verbale.

Les études de ces différents auteurs mettent en évidence :

- 1) l'existence de relations entre performances arithmétiques et perceptivo-tactiles, notamment digitales ;
- 2) que les difficultés en mathématiques présentées par les adultes ou les enfants ne sont pas globales mais touchent sélectivement un type d'activités.

De fait, nous nous sommes demandé si cette association ne pouvait pas trouver une explication dans la relation qu'entretiennent les doigts et la structuration spatiale dans l'apprentissage du calcul.

Deux hypothèses sont en effet susceptibles de rendre compte de cette relation. La première renvoie à l'idée de proximité de localisation des aires neurologiques d'intégration alors que la seconde suggère une relation fonctionnelle entre capacités perceptives et performances arithmétiques.

L'hypothèse de proximité de localisation.

Selon cette hypothèse, la liaison entre ces types de performances, perceptivo-tactile et numérique, tiendrait à la proximité spatiale des projections cérébrales des afférences perceptivo-tactiles et d'un au moins des centres de représentation de la numérosité. En effet, l'aire 39 de Brodmann est impliquée d'une part comme aire intégratrice dans la perception tactile. Au niveau sensoriel, les mains sont des parties du corps privilégiées pour la sensibilité tactile car, d'une part, ce sont les organes les plus mobiles chez l'homme, ce qui leur confère une capacité exploratrice importante et, d'autre part, elles disposent d'un équipement sensoriel hautement perfectionné. La main est donc l'organe privilégié du toucher actif.

D'autre part, l'aire 39 de Brodmann est également dévolue à l'analyse de la relation visuo-spatiale entre objets.

Pour finir, en ce qui concerne les nombres, cette aire est cruciale dans la représentation quantitative et la manipulation mentale des nombres. Elle permet d'accéder au sens des nombres en tant que quantité abstraite. Elle contribue à la représentation de la grandeur relative des nombres (bissection d'intervalle et comparaison). Dehaene et Cohen (1995) ont élaboré un modèle architectural fonctionnel et anatomique qui suggère que les nombres peuvent être représentés dans le cerveau humain selon trois codes distincts :

- 1) un code visuel arabe, situé dans les aires occipito-temporales droite et gauche. Il correspond à une représentation dans laquelle les nombres sont représentés comme des suites de chiffres : $52 = \langle 5 \rangle \langle 2 \rangle$;
- 2) un code verbal, les nombres étant encodés sous forme de séquences syntaxiquement organisées de mots, sous la dépendance des aires périsylvienne gauches et du ganglion basal gauche ;
- 3) un code analogique, les quantités se trouvent représentées sous forme analogique dans les aires pariétales inférieures (aire 39 de Brodmann). Cette représentation donne une information sémantique : la quantité associée à un nombre donné est récupérée et mise en relation avec d'autres quantités (52 est plus petit que 60).

Ces trois représentations sont reliées par des voies permettant la traduction rapide d'un format à l'autre. Deux voies principales sont ainsi disponibles :

- 1) la première est la « voie directe non sémantique », dans laquelle les entrées numériques sont transformées en format verbal accessible à la mémoire verbale des faits arithmétiques. La récupération de ces séquences verbales est assurée par une boucle cortico-sous-corticale à travers le ganglion basal. Cette région serait impliquée dans l'addition et la multiplication, et, notamment, la récupération en mémoire des faits arithmétiques.
- 2) la deuxième voie est une voie « sémantique directe », par laquelle les manipulations mentales des quantités numériques sont utilisées pour effectuer des opérations. Cette voie se situerait dans le cortex pariétal inférieur.

Donc, l'aire 39 de Brodmann est impliquée comme aire intégratrice dans la perception haptique, l'analyse des relations visuo-spatiales entre objets et la manipulation mentale des quantités. En revanche, cette aire ne semble pas intervenir dans l'intégration des dimensions verbales du traitement numérique.

L'hypothèse de relation fonctionnelle.

La seconde hypothèse conçoit les relations entre représentations perceptivo-tactiles et représentations numériques comme fonctionnelles. Elle s'appuie sur le rôle primordial que jouent les doigts dans l'apprentissage de la numération et dans la pratique du dénombrement. En effet, on peut penser que les doigts sont utilisés pour plusieurs raisons : ils sont toujours dénudés et donc facilement visibles. De plus, ils sont mobiles, manipulables et faciles à mettre en correspondance terme à terme avec une collection d'objets dans le but d'un comptage. D'ailleurs, quelle que soit la culture, les enfants utilisent leurs doigts pour apprendre à compter. Ils pointent, touchent ou déplacent les objets lorsqu'ils dénombrent. On sait aussi que l'exactitude du dénombrement diminue lorsqu'ils ne peuvent ni mouvoir, ni toucher ni pointer les objets. Cette activité requiert un contrôle précis des mouvements et de la position des doigts et des mains dans l'espace.

Du point de vue développemental, Brissiaud (1994) a relaté le cheminement d'un enfant français qui, de 3 ans à 4 ans 6 mois, a utilisé ses doigts pour compter. Il avait appris à représenter les quantités sous forme analogique à l'aide de collections de doigts, c'est-à-dire qu'il savait montrer le nombre exact de doigts à l'énonciation du mot-nombre sans avoir à compter ses doigts. Ce procédé a précédé l'apprentissage du comptage. L'enfant était ainsi arrivé à conceptualiser une quantité grâce à l'utilisation d'un système gestuel (les doigts) et non grâce à l'utilisation d'un système verbal (les mots-nombres). L'intérêt de cette stratégie était que les doigts étaient toujours utilisés dans le même ordre, chaque nouveau doigt levé correspondait à un mot-nombre précis, ce qui lui permettait de construire simultanément la valeur ordinale des nombres et, comme le dernier mot-nombre prononcé représentait la quantité, la valeur cardinale. De plus, comme chaque mot-nombre correspondait à un doigt particulier, l'enfant contrôlait plus facilement l'usage de ces mots-nombres lors d'un comptage et établissait d'emblée une suite verbale stable et conventionnelle.

Les activités gestuelles permettraient donc le passage d'une conception procédurale à une conception déclarative du nombre. En fait, on peut penser que les doigts fourniraient à l'enfant une première représentation non verbale mais concrète de la numérosité sur laquelle se construirait, dans un deuxième temps, la représentation verbale de la numération. Ainsi, l'établissement de représentations cardinales pourrait dépendre de l'expérience gestuelle qui a contribué à leur élaboration. Dans cette optique, on peut émettre l'idée que c'est la qualité de la représentation non verbale qui serait à l'origine des différences observées chez les enfants lors de l'acquisition de la représentation verbale de la suite arithmétique. Il s'ensuit que plus cette représentation digitale est confuse plus les représentations numériques sont fragiles (i. e. erronées) ou difficiles à mobiliser (i.e. nécessitant du temps pour les mettre en œuvre). Pour conclure, on peut penser que l'association entre des capacités perceptivo-tactiles digitales, des capacités visuo-spatiales et des performances en arithmétique d'un individu non seulement ne seraient pas fortuites mais pourraient être prédictives de la réussite de certains aspects des apprentissages en arithmétique. C'était l'objectif de la recherche.

II EXPERIMENTATION

Expériences 1 et 2

La première partie rapporte une étude longitudinale qui concernait des enfants allant de la grande section de maternelle à la troisième année d'école primaire (expériences 1 et 2). Notre objectif était de montrer que les performances perceptivo-tactiles permettaient de prédire, mieux que les scores de niveau de développement intellectuel, les performances ultérieures d'enfants de 5 - 8 ans en arithmétique.

Les enfants ont été soumis à trois types d'épreuves : perceptivo-tactile – niveau de développement – numériques.

1. Les épreuves perceptivo-tactiles :

Gnosies digitales :

L'examineur demande à l'enfant de mettre ses mains en pronation sur la table et, dans un premier temps affecté, sous contrôle visuel, un nombre de 1 à 5 à chacun des doigts en commençant par le pouce et terminant par l'auriculaire. Le sujet ferme alors les yeux et l'expérimentateur touche un à un les doigts du sujet selon la série 3 - 1 - 5 - 4 - 2. Le sujet doit à chaque fois identifier le doigt stimulé en donnant le nombre associé, sans jamais ouvrir les yeux.

Discrimination digitale :

Cette épreuve analyse de manière précise la reconnaissance par l'enfant d'une double stimulation tactile. L'examineur demande à l'enfant de poser ses deux mains en pronation sur la table, l'enfant ayant les yeux fermés, l'expérimentateur touche simultanément deux doigts d'une même main ou successivement deux fois le même doigt. Après ouverture des yeux, l'enfant doit désigner avec l'index controlatéral le ou les doigts stimulés. L'ordre était le suivant : 1-3 / 2-3 / 2-4 / 5-5 / 1-5

Graphiesthésie :

L'expérimentateur effectue lentement à l'aide d'une pointe mousse un tracé sur le dos de la main droite de l'enfant (main en pronation) qui, après réouverture des yeux, doit reproduire au même endroit ce tracé avec son index (formes à reproduire : O / + / 1 / 6 / 3).

2. Les épreuves de développement :

Bonhomme et figures géométriques.

3. Les épreuves numériques en GS :

Ecriture de nombres, compléter une suite de nombres ; dénombrement de collections et résolution de problèmes.

4. Les épreuves numériques en CP :

Dictée de nombres ; compléter une suite de nombres ; opérations et résolution de problèmes.

Les résultats montrent qu'en GS de maternelle, les scores aux épreuves numériques sont mieux prédits par le Neuro¹ sauf l'écriture de nombres, mieux prédite par le QD². La nature verbale de cette activité, très liée aux apprentissages, peut expliquer sa dépendance par rapport au QD. Pour les autres épreuves, où il n'y a pas d'apprentissage systématique en GS, nous pensons que la plupart des réponses dépendent du calcul et les résultats montrent qu'elles sont mieux prédites par le score en Neuro que par le QD.

En revanche, au CP la plupart des résultats sont mieux prédits par le QD, en particulier les épreuves d'écriture de nombres et d'opérations. Ces deux épreuves mettent en jeu l'utilisation de connaissances déclaratives. Nous pensons là encore que, pour les réussir, il est nécessaire que les enfants aient acquis une certaine automatisation de la chaîne verbale, automatisation qui dépend de la pratique, de l'âge et du niveau

¹ Neuro : variable mesurant les capacités percepto-tactiles de l'enfant

² QD : variable mesurant le niveau de développement intellectuel de l'enfant

scolaire. Cette interprétation peut expliquer le fait que ces résultats soient mieux prédits par le QD que par le Neuro. Par contraste, la résolution de problèmes qui requiert l'élaboration et le traitement des représentations des quantités reste mieux prédite par les performances en Neuro.

Suite de l'étude longitudinale

Nous avons continué l'étude longitudinale avec ces mêmes enfants scolarisés en troisième année d'école élémentaire pour deux raisons.

- 1) Nous voulions nous assurer que les performances perceptivo-tactiles expliquaient davantage les scores en mathématiques qu'en français, le contraire aurait enlevé tout caractère original à nos résultats ;
- 2) Nous voulions vérifier si les résultats des épreuves perceptives recueillies à 5 ans restaient toujours prédictives trois ans plus tard.

Donc nous avons gardé les scores aux épreuves perceptivo-tactiles de GS. Par ailleurs, nous avons soumis les enfants à un nouveau test de développement intellectuel (PM47).

Pour finir, nous avons utilisé les évaluations nationales en français et en mathématiques. Dans un premier temps, nous avons calculé les corrélations entre les quatre épreuves numériques et le résultat en français. Cette procédure nous permettait de classer *a posteriori* les épreuves numériques en épreuves à dominance verbale (suite de nombres et opérations) ou non verbal (calcul mental et résolution de problèmes) suivant qu'elles étaient plus ou moins corrélées avec les résultats en français. Les résultats confirment la liaison existant entre des habiletés perceptivo-tactiles, explorées à travers des épreuves digitales et les capacités de représentation et de manipulation mentale des quantités évaluées à travers les épreuves de calcul mental et résolution de problèmes et ce indépendamment du niveau de développement. Donc ces résultats mettent en évidence le caractère prédictif à long terme des performances aux épreuves perceptivo-tactiles sur certaines performances numériques.

En résumé, à l'issue de ces trois expériences, notre objectif était atteint : avoir montré que les capacités perceptivo-tactiles d'enfants de 5 ans, évaluées à travers des représentations digitales, prédisaient mieux que le niveau de développement intellectuel les scores à certaines épreuves numériques, en particulier celles nécessitant la représentation et la manipulation des quantités et ce chez des enfants apparemment indemnes de troubles d'apprentissage.

Notre interprétation est que la qualité et la précision des représentations digitales pourraient conditionner l'élaboration des représentations numériques ultérieures. En effet, nous pensons que les représentations digitales pourraient jouer un rôle d'intermédiaire entre, d'une part, une représentation primitive continue et approximative des quantités et, d'autre part, une représentation discrète, précise d'une quantité symbolisée soit par les noms de nombres, soit par les chiffres arabes. En d'autres termes, il nous semblait que l'utilisation des doigts apparaissait comme facilitatrice pour l'acquisition de la discrétisation de la chaîne numérique. Nous avançons deux interprétations différentes. La première pouvait se concevoir en terme de représentation. En effet, on pouvait émettre l'idée que les enfants dont la perception kinesthésique des doigts était imprécise, pouvaient construire des représentations digitales erronées et ainsi élaborer et conserver en mémoire à long terme des représentations numériques fausses. La seconde interprétation s'énonçait plus en terme

de procédure c'est-à-dire que les représentations numériques élaborées à partir des représentations digitales seraient exactes mais plus difficiles à mobiliser. Les résultats des trois expériences précédentes ne permettaient pas de trancher en faveur de l'une ou l'autre des interprétations. Nous avons alors réalisé une nouvelle série de deux expériences. De plus, nous devons prendre en compte un facteur comportemental, dont l'association avec la dyscalculie n'est pas rare : l'attention.

Expériences 4 et 5

L'objectif des quatrième et cinquième expériences était donc de déterminer comment les doigts pouvaient constituer des médiateurs des habiletés numériques entre les numérosités « externes » et les représentations « internes » de ces mêmes quantités ou numérosités.

Nous avons donc décidé de travailler non plus sur la population en globalité mais sur des groupes différenciés. Dans l'expérience 4, 52 enfants de GS de maternelle ont été répartis en quatre groupes significativement différenciés selon leurs capacités perceptivo-tactiles d'une part (Neuro + vs. Neuro-)³ et développement intellectuel d'autre part (QD+ vs. QD-)⁴.

Nous avons proposé aux sujets trois types d'épreuves numériques mettant en jeu les doigts :

1. Une épreuve de dénombrement

qui nécessitait un pointage précis et organisé dans l'espace de collections homogènes (9 ; 14 ; 18 ; 21 ; 28 gommettes) ou avec interférents (8 ; 13 ; 19 ; 23 ; 27). Cette deuxième condition devait permettre d'évaluer le coût attentionnel dû à la présence d'interférents.

2. Une épreuve de production digitale :

le but de cette épreuve était de déterminer si, lors de présentations de cardinalités, l'enfant était capable de se représenter rapidement et exactement une quantité et de l'extérioriser avec ses doigts.

Dans la première tâche, l'expérimentateur énonçait à haute voix une cardinalité et les participants devaient la reproduire avec les doigts de leurs propres mains (verbale). Dans la deuxième, l'expérimentateur montrait avec ses doigts, pendant une seconde, une cardinalité présentée en configuration canonique (définie par quatre juges) que l'enfant devait reproduire avec ses propres doigts (digitale). Dans la dernière tâche, l'enfant devait reproduire avec ses doigts une configuration spatiale de gommettes disposées en respectant la distribution conventionnelle du dé (spatiale).

Cette épreuve nécessitait d'une part, qu'une représentation stable des quantités élémentaires soit associée à une dénomination et, d'autre part, que l'enfant puisse récupérer en mémoire verbale les faits numériques ainsi stockés. Ces processus seraient

³ Neuro + : variable représentant les enfants ayant eu le meilleur score aux épreuves perceptivo-tactiles. Neuro - : variable représentant les enfants ayant eu le score le plus faible aux épreuves perceptivo-tactiles

⁴ QD+ : variable représentant les enfants ayant eu le meilleur score aux épreuves de développement intellectuel. QD- : variable représentant les enfants ayant eu le moins bon score aux épreuves de développement intellectuel.

très liés aux apprentissages, de là leur dépendance par rapport au niveau de développement

3. Une épreuve de jugement. :

L'objectif était d'estimer les capacités de jugement de l'enfant face à une production digitale dont il n'était pas l'auteur. Il ne s'agissait plus pour l'enfant d'agir avec ses doigts mais de juger la numérosité d'une collection de doigts présentée par un tiers en la comparant à d'autres quantités.

Cette dernière épreuve permettait de différencier deux situations, canonique (i. e. conforme aux normes habituelles de collections de doigts utilisées par les enfants pour apprendre à compter : exemple : 2 = pouce et index de la même main) versus non conventionnelle (i. e. collections de doigts non utilisées habituellement par les enfants pour apprendre à compter : exemple : 2 = pouces des deux mains). Les planches proposées aux enfants comportaient chacune quatre photographies de configurations de doigts représentant des cardinalités. Celles-ci pouvaient être canoniques sur une main, canoniques sur deux mains ou non conventionnelles. L'expérimentateur énonçait un nombre (2, 4 ou 7) et l'enfant devait choisir le plus rapidement possible la photographie représentant ce nombre parmi trois distracteurs.

Nous attendions un effet du Neuro pour les épreuves de dénombrement et de jugement de quantités et un effet du QD pour l'épreuve de production.

Les résultats recueillis ont été en partie conformes à nos prédictions, à l'exception des résultats de la tâche de jugement qui pouvaient être dus au hasard. En ce qui concerne l'épreuve de dénombrement, nous avons mis en évidence que les enfants Neuro + ont dénombré plus vite et avec moins d'erreurs que les enfants Neuro - tous les types de collection, homogènes ou avec interférents. Ces faits peuvent être expliqués par une meilleure analyse visuo-spatiale et un meilleur pointage de la part des enfants Neuro +. Par contre, nous n'avons pas pu mettre en évidence une interaction entre les capacités perceptivo-tactiles et les résultats à l'épreuve de dénombrement. Etant donné la difficulté de l'épreuve (grand nombre d'éléments, disposition aléatoire), il est possible que nous ayons eu affaire à un effet plancher qui a pu masquer la possible interaction. En ce qui concerne les résultats observés dans la tâche de dénombrement, en situation « interférents », ceux-ci n'ont pas été conformes à nos prédictions. En effet, nous pensions que les enfants Neuro - seraient plus gênés par la présence d'interférents que les enfants Neuro +, ce qui n'a pas été le cas. Il se peut donc que la difficulté de la tâche de dénombrement réside dans l'activité de pointage en elle-même et non dans la prise d'information visuelle. Là encore, ce résultat est à considérer avec prudence vu le matériel que nous avons utilisé. Néanmoins, dans ces conditions expérimentales, nous ne pouvons pas retenir la composante attentionnelle comme facteur explicatif de l'infériorité des performances des enfants Neuro - par rapport à celles des enfants Neuro +. C'est sans doute la tâche de dénombrement en elle-même qui est difficile pour les enfants Neuro -.

En ce qui concerne l'épreuve de production digitale, ainsi que nous l'attendions, les scores étaient mieux prédits par le niveau de développement que par le Neuro. Une condition se détachait cependant des autres, la très bonne réussite de tous les enfants dans la condition « digitale ». Ce résultat suggérait que les représentations digitales étaient correctement mises en place chez tous les enfants. Il devenait alors légitime de penser que les enfants Neuro - avaient simplement plus de mal à les mobiliser. Donc ce résultat a permis d'éliminer une des deux raisons évoquées en fin de deuxième

partie : les représentations digitales des enfants Neuro - ne semblent pas plus déficientes que celles des Neuro+.

Néanmoins, vu l'échec important des deux groupes d'enfants dans les collections de grande taille, nous ne pouvions nous contenter de ces résultats.

Dans l'Expérience 5 :

- 1) Nous nous proposons de confirmer le rôle de la médiation assurée par les doigts dans une activité de dénombrement mais portant sur des collections de plus petite taille, afin de lever l'inconvénient du grand nombre.
- 2) Il convenait également de rechercher, à nouveau, un possible effet de l'attention.
- 3) Par ailleurs, afin de confirmer l'hypothèse que les représentations internes des quantités étaient aussi bien mises en place chez les Neuro – que chez les Neuro + nous avons proposé aux enfants une épreuve de comparaison de quantités portant uniquement sur des chiffres inférieurs à 10. En effet, nous pouvions penser qu'en dernière année de maternelle la plupart des enfants avaient non seulement acquis la chaîne numérique verbale jusqu'à 10 mais également la représentation interne analogique des quantités. Par conséquent, il ne devait plus exister de différences de performances entre ces enfants, quel que soit leur niveau en Neuro. En fait, cette épreuve a été créée comme une épreuve « contrôle ». Elle comportait trois conditions expérimentales : verbale – visuelle arabe – spatiale. Les enfants devaient à chaque fois choisir le plus grand des deux nombres ou collections.

La nouvelle population, 52 enfants de grande section de maternelle, était appariée en fonction du niveau de développement mais différenciée selon le niveau en Neuro, Neuro – et Neuro+. Nous avons à nouveau proposé une épreuve de dénombrement de collections homogènes et de collections avec interférents en diminuant de façon sensible le nombre d'items à dénombrer afin de permettre à tous les enfants d'effectuer un balayage visuel exhaustif de la collection. Nous faisons les mêmes hypothèses que dans l'Expérience 4. Les résultats sont les suivants. Ainsi que nous l'attendions, la plus petite numérosité des collections a permis à tous les enfants d'effectuer la tâche de dénombrement sans donner lieu à un effet plancher chez les Neuro -. Nous avons à nouveau mis en évidence un effet du Neuro dans la tâche de dénombrement. Par ailleurs, comme dans l'expérience 4, nous avons remarqué que les enfants des deux groupes commettaient plus d'erreurs de pointage que d'erreurs d'énonciation de la chaîne numérique verbale ou d'erreurs de coordination pointage / énonciation et ce, dans toutes les épreuves de dénombrement. Comme dans l'Expérience 4, nous avons également noté une baisse des performances chez les Neuro – comme chez les Neuro + en présence d'interférents. Nous pouvons donc à nouveau émettre l'idée que, si les enfants du groupe Neuro - ont de moins bonnes performances en dénombrement que ceux du groupe Neuro +, ce n'est pas parce qu'ils ont plus de mal à prendre des indices visuels, et, donc, à encoder l'information. Ces résultats ont donc précisé ceux de l'expérience précédente et confirmé nos prédictions.

En conclusion, les enfants Neuro – n'ont pas de moins bonnes capacités pour appréhender des informations visuelles. Ils n'ont pas plus de mal à énoncer la chaîne numérique verbale ainsi qu'à mettre en œuvre une correspondance terme à terme. On peut donc penser que c'est l'activité de pointage qui paraît la plus déficiente chez les enfants Neuro -.

Le rôle des doigts, comme médiateurs entre représentation non verbale et représentation verbale, peut ainsi être évoqué essentiellement au niveau procédural. En effet, les doigts interviennent dans la réalisation des mouvements volontaires, dans la perception kinesthésique et dans la représentation concrète et explicite de la numérosité. Il est donc possible que ces habiletés praxiques et perceptivo-tactiles permettent aux enfants Neuro + d'effectuer des activités de quantification plus vite et avec moins d'erreurs que les enfants Neuro -, permettant ainsi une transition plus sûre entre conception procédurale et conception déclarative du nombre. Par la suite, la supériorité de ces performances arithmétiques aiderait les enfants Neuro + tant au niveau de la maîtrise et de l'utilisation à bon escient de procédures de calcul que de la résolution de problèmes. Il est nécessaire, pour interpréter ce fait, de postuler l'existence d'une intrication neuro-fonctionnelle des représentations de la numérosité, de l'espace et des doigts au niveau cortical, vraisemblablement dans le lobe pariétal.

Ainsi, l'ensemble des travaux présentés conduit à valider, chez de jeunes enfants tout venant, un modèle à visée développementale postulant le caractère prédictif des gnosies digitales sur des activités numériques touchant la représentation interne de la quantité.

POURSUITE DES TRAVAUX.

De futures recherches devront tenter de préciser davantage le rôle facilitateur des collections de doigts dans la mise en place des premières représentations numériques chez les jeunes enfants. Deux directions de travail nous semblent s'imposer. La première consisterait à rechercher qui de l'analyse visuo-spatiale ou du pointage est plus prédictif de certaines performances. En second lieu, il est nécessaire d'étudier l'impact que pourrait avoir un entraînement perceptivo-tactile sur des enfants tout-venant, dans la mise en place des premières représentations numériques. Notre hypothèse est que si les enfants présentent uniquement un retard (i. e. fonctionnel) au niveau de la maturation du lobe pariétal se traduisant par un retard de leurs capacités perceptivo-tactiles, praxiques et d'analyse visuo-spatiale, alors l'entraînement perceptif leur permettra de récupérer ce retard. Si, par contraste, ils sont porteurs d'un trouble (i. e. structurel), l'entraînement perceptif n'aura pas d'effet sur les différentes compétences évoquées et les enfants devront alors bénéficier d'une véritable rééducation.