

Université de Provence Aix-Marseille I
U.F.R Psychologie, Sciences de l'Éducation
29, Av. Schuman, 13621 Aix-en-Provence cedex 1

L'ADDITION EN COLONNES CHEZ DES
ENFANTS PRESENTANT UNE DYSPRAXIE
CONSTRUCTIVE.

Mémoire présenté pour l'obtention
de la maîtrise de Psychologie
(spécialité Psychologie Cognitive et Expérimentale)

Marie GERMA

Sous la direction de Mireille Bastien-Toniazzo

Juin 2003

RESUME :

La dyspraxie constructive développementale est un trouble cognitif handicapant du fait du trouble de la structuration de l'espace qui la caractérise. Or, la pose et la résolution de l'addition en colonnes mettent en jeu la gestion de l'espace-feuille. On peut supposer que si on décharge les enfants dyspraxiques de cet aspect de la tâche, leurs performances seront améliorées. L'expérience 1 consiste à faire une série d'additions en colonnes avec et sans les deux aides suivantes : les additions sont déjà posées et l'expérimentateur écrit pour l'enfant en rectifiant les imprécisions spatiales. Au vu des résultats, aucune des deux aides n'est apparue comme efficace. Par ailleurs, les enfants dyspraxiques ont fait plus d'erreurs spatiales et moins d'oublis de la retenue que le groupe contrôle. On peut supposer qu'ils prêtent une plus grande attention à la retenue au détriment du calcul et de l'aspect spatial de la tâche. L'expérience 2 consiste à faire des additions en colonnes sans retenue. Les erreurs spatiales et de calcul diminuent nettement. Cela peut confirmer l'hypothèse ci-dessus ou venir du fait que ces additions sont plus faciles que celles de l'expérience 1.

Mots clés : Dyspraxie constructive – addition en colonnes – structuration de l'espace – erreurs spatiales – retenue.

SUMMARY :

Constructive developmental dyspraxia is a cognitive disorder causing a handicap through its characteristic troubling of space structuring abilities. Now, the vertical transcription and the calculation require adequate handling of the papersheet-space. One may suppose that if children with dyspraxia are relieved from those aspects of the task, their performance will be improved. Experiment 1 consists in solving a series of vertical additions with the following two aids : the additions are already put down vertically and the investigator writes for the child, correcting occurring spatial dimness. According to the results both aids did not prove efficient. Moreover, children with dyspraxia made more spatial errors and less errors of forgetting the kept back sum, compared to the control group. One may suppose that they pay more attention on the kept back sum, on cost of the reckoning and the spatial aspect of the task. Experiment 2 consists in solving vertical additions without kept back sum. Spatial and reckoning errors clearly decrease. This might either confirm the upper hypothesis or simply be due to the fact, that these additions are easier than those of experiment 1.

Key words : constructive dyspraxia – vertical addition – structuring of space – spatial errors – kept back sum.

TABLE DES MATIERES

Introduction	
I. Partie théorique	
1. La dyspraxie	
1.1. Définitions	
1.2. Etiologie et épidémiologie de la dyspraxie	

1.2.1. Etiologie	
1.2.2. Epidémiologie	
1.3. Quatre modèles de la dyspraxie développementale présentés par Lussier & Flessas (2001)	
1.3.1. Modèle de Ayres (1979)	
1.3.2. Modèle de Dewey (1995)	
1.3.3. Modèle de Cermark (1985)	
1.3.4. Modèle de Mazeau (1995)	
- modèle des fonctions practo-gnosiques	
- dyspraxies idéatoire et idéomotrice	--
- dyspraxie de l'habillage	--
- dyspraxie constructive	
1.3.5. Intégration de ces quatre modèles par Lussier et Flessas (2001)	
1.4. La réalité quotidienne des enfants dyspraxiques	
2. Les enfants dyspraxiques et les mathématiques	
2.1. A propos du dénombrement	
2.2. A propos du « calcul »	
2.3. A propos de la résolution d'opération en colonnes	
II. Partie expérimentale	
1. Expérience 1	
1.1. Caractéristiques des participants	
1.2. Facteurs expérimentaux	
1.3. Construction du matériel	
1.4. Passation	
1.5. Notation des protocoles	
1.6. Résultats	
1.6.1. Analyse statistique	
1.6.2. Analyse des protocoles individuels	
1.7. Discussion	
2. Expérience 2	

2.1. Caractéristiques des participants	
2.2. Facteurs expérimentaux	
2.3. Construction du matériel	
2.4. Passation	
2.5. Notation des protocoles	
2.6. Résultats	
2.6.1. Résultats concernant l'expérience 2	
2.6.2. Analyse comparative des expériences 1 et 2	
2.7. Discussion	

INTRODUCTION

La dyspraxie m'a été présentée par des médecins scolaires, des associations (Coridys et Apédys) et des parents d'enfants diagnostiqués « dyspraxiques », comme un trouble cognitif grave, handicapant et fort peu connu des professionnels travaillant auprès d'enfants tels que les instituteurs et professeurs, médecins et psychologues scolaires. Or si ces professionnels sont si peu informés, c'est que les recherches et la littérature sur ce sujet sont rares. En effet dans la littérature française, à côté des quelques articles scientifiques et de quelques chapitres dans des livres généraux sur les troubles cognitifs, un seul ouvrage y est entièrement consacré, c'est celui de Mazeau (1995) et encore porte-t-il essentiellement sur la dyspraxie chez les infirmes moteurs cérébraux (IMC) et non pas chez les enfants tout venant. La littérature anglophone est constituée surtout d'ouvrages qui commencent à dater un peu et traitent de la dyspraxie essentiellement en faisant référence à l'apraxie de l'adulte. Il apparaît donc intéressant de travailler sur ce thème encore trop peu exploré et pourtant porteur d'un enjeu essentiel, le bien-être d'un certain nombre d'enfants et de leur famille.

Si on écoute les plaintes de ces enfants, de leurs parents et de leurs instituteurs, on s'aperçoit que les difficultés en mathématiques sont régulièrement évoquées, notamment les difficultés rencontrées face aux opérations en colonnes. Les articles et les ouvrages (ou chapitres d'ouvrages) consacrés à la dyspraxie le soulignent également. Cependant, aucune expérimentation ayant pour but d'investiguer de manière scientifique cet aspect des difficultés scolaires de l'enfant dyspraxique n'a encore été faite à ma connaissance.

Le travail présenté ici se propose donc de lancer une recherche exploratoire sur les difficultés que peuvent rencontrer des enfants présentant une dyspraxie constructive lors d'une tâche de pose ou de résolution d'opérations en colonnes.

Partie théorique

1. La dyspraxie

1.1. Définitions

La dyspraxie est un trouble cognitif spécifique (Mazeau, 1995) qui se manifeste par différents symptômes. Un enfant dyspraxique serait anormalement maladroit (on a souvent parlé de « clumsiness ») et ne pourrait pas organiser ses gestes que pourtant il conçoit bien. Ses réalisations motrices ou graphiques sont médiocres. A l'école il peut avoir des difficultés graphiques, des difficultés en mathématiques, notamment en calcul et en géométrie, et des difficultés pour lire les graphiques et les tableaux. Le domaine verbal par contre est préservé et l'enfant est vif à l'oral, il a une bonne mémoire verbale et une bonne logique.

D'un point de vue neuropsychologique, la dyspraxie est un trouble développemental (à la différence de l'apraxie, qui est un trouble acquis) qui consiste en une perturbation de la mise en place des « praxies ».

On appelle « praxie » la fonction de pré-programmation et de planification du geste. Un geste se distingue d'un mouvement, qui est le résultat de la contraction d'un muscle ou d'un groupe de muscles faisant bouger un segment de membre (par exemple, la flexion du coude). Un geste est une combinaison complexe de mouvements, produisant une action consciente et volontaire guidée par un but, comme porter une cuillère à la bouche.

Alors que les commandes motrices des muscles permettant les mouvements se mettent en place très précocement dans le développement et sont pour l'essentiel « pré-câblés », les gestes, eux, sont le fruit d'un long apprentissage. Sous l'effet de la répétition, des essais et erreurs successifs, se construisent peu à peu des schémas, des sortes de cartes toutes prêtes, inscrites cérébralement, contenant l'ensemble des instructions pour planifier chacun de nos gestes : ce sont les « praxies » (Mazeau, 1995, 1997 ; Mellier, 2000). La dyspraxie est donc un trouble de la mise en place de ces « praxies ».

Cependant la description des troubles praxiques de l'enfant et de leurs mécanismes sous-jacents diffère selon les auteurs. En effet les difficultés de la coordination motrice chez l'enfant ont été décrites depuis longtemps sous des terminologies diverses et ambiguës, regroupant des réalités cliniques variables. Ainsi le consensus n'existe pas encore entre chercheurs ni entre cliniciens, sur une définition précise des troubles praxiques que constitue la dyspraxie.

Albaret, Carayre, Soppelsa & Michelon (1995) donnent quelques-unes des terminologies apparues dans la littérature :

- Le DSM III-R et le DSM IV (1993) parlent d'un « trouble d'acquisition des coordinations » dont les critères sont les suivants :
 - A - La réalisation des activités de la vie de tous les jours nécessitant une coordination motrice est significativement inférieure à ce que l'on pourrait attendre compte tenu de l'âge chronologique du sujet et de ses capacités intellectuelles. Cela peut se manifester par des retards importants dans les étapes du développement psychomoteur (marcher, ramper, s'asseoir), par le fait de laisser tomber des objets, par une « maladresse », par de mauvais résultats sportifs ou une mauvaise écriture.
 - B - La perturbation décrite sous A gêne de façon significative les résultats scolaires ou la vie quotidienne.
 - C - Ce n'est pas dû à une affection somatique connue, comme une infirmité motrice cérébrale, une hémiplégie ou une dystrophie musculaire.
- La CIM 10 (OMS, 1992) distingue un « trouble spécifique du développement moteur » qui regroupe dyspraxie et « débilité motrice » et dont la caractéristique essentielle est une altération du développement de la coordination motrice, non imputable entièrement à un retard intellectuel global ou à une affection neurologique spécifique, congénitale ou acquise.
- D'après Picard (2000), certains auteurs associent la dyspraxie au « syndrome de l'enfant maladroit » (syndrome de « clumsiness ») décrit en 1975 par Gubbay, Ellis & Walton. Albaret (1993) fait cependant la critique de cet emploi du terme d'« enfant maladroit » pour le dyspraxique, parce qu'il suggère à tort l'existence d'un concept unitaire de maladresse qui ne correspond pas à la multiplicité des tableaux cliniques et à l'hétérogénéité de la population regroupée sous ce vocable.

- Ayres (1972), décrivant ces mêmes enfants maladroits avec des difficultés scolaires, emploie quant à elle le terme de « trouble d'intégration sensorielle » en raison des mécanismes sous-jacents qu'elle attribue à la dyspraxie et qui seront développés plus loin.

Il existe donc différentes conceptions de la dyspraxie développementale, qui varient selon les auteurs et selon leurs intuitions des mécanismes responsables de ce trouble.

1.2. Etiologie et épidémiologie de la dyspraxie

1.2.1. Etiologie

L'étiologie de la dyspraxie développementale est fondamentalement différente de celle de l'apraxie acquise. Même si les symptômes sont souvent similaires, ce ne sont pas les mêmes dysfonctionnements qui sont impliqués. Chez l'adulte qui perd une praxie déjà acquise, on retrouve presque toujours une lésion selon son type d'apraxie. Chez l'enfant avec un trouble praxique développemental, c'est rare. Le plus souvent, il n'y a pas de site lésionnel clairement impliqué comme facteur causal (Flessas & Lussier, 2001). En effet, chez l'enfant ayant subi des lésions cérébrales très précoces, une réorganisation cérébrale diffuse, possible grâce à la plasticité cérébrale, permet, avec plus ou moins d'efficacité, une certaine compensation ou atténuation du déficit lésionnel initial, ce qui explique l'impossibilité ultérieure à localiser telle ou telle fonction et à faire des correspondances anatomocliniques (Mazeau, 1995).

1.2.2. Epidémiologie

Le DSM IV estime la prévalence du « trouble de l'acquisition de la coordination » à 6% chez les enfants de 5 à 11 ans.

Ces troubles se rencontrent plus fréquemment chez les garçons (de 2 à 4 fois plus souvent que chez les filles).

1.3. Quatre modèles de la dyspraxie développementale présentés par Lussier & Flessas (2001)

1.3.1. Modèle de Ayres (1979)

Ayres (1979) attribue la dyspraxie développementale à un déficit de l'intégration sensorielle. Chez l'enfant non-dyspraxique, une intégration sensorielle adéquate l'amène à se construire des schèmes cognitifs lui permettant d'organiser et de planifier ses mouvements. Ceci est impossible chez le dyspraxique qui est incapable d'évaluer l'importance des informations sensorielles reçues du monde extérieur (surtout les indices visuo-spatiaux) ou de son corps propre (informations proprioceptives et kinesthésiques et informations provenant du système vestibulaire, qui sont nécessaires à l'élaboration du schéma corporel). Le dyspraxique est incapable, selon elle, de synchroniser et d'intégrer ces différentes informations dont la détection conditionne pourtant la bonne séquence de sa réponse motrice.

1.3.2. Modèle de Dewey (1995)

Dewey (1995) défend l'idée que la dyspraxie ne serait pas due à des difficultés motrices ou perceptivo-motrices, mais proviendrait d'une perturbation de la représentation abstraite du geste, de sa conceptualisation symbolique. Elle associe donc la dyspraxie à l'apraxie idéatoire de l'adulte.

Apraxie idéatoire : le patient est incapable de réaliser la séquence de gestes nécessaire à la réalisation d'une action complexe, alors que les unités gestuelles élémentaires qui la composent sont exécutées sans difficultés. Il ne sait pas utiliser les objets réels et les outils de manière appropriée. Par exemple il est capable de frotter une allumette mais si on lui demande d'allumer une bougie il tapote l'allumette contre n'importe quelle face de la boîte ou frotte la bougie sur la boîte (Gil, 2000 ; Flessas & Lussier, 2001). Il s'agit d'une atteinte du savoir sur l'objet selon Springer & Deutsch (2000) ou plus généralement d'un trouble de la conceptualisation de l'idée de geste selon Flessas & Lussier (2001).

Pour elle, les réponses observées chez les dyspraxiques qui utilisent une partie du corps comme objet (par exemple : l'index pour symboliser la brosse à dent lorsqu'on leur demande de mimer l'action de se brosser les dents) ou bien les désordres de la séquence motrice dans une pantomime, ne sont pas attribuables à une défectuosité motrice ou idéomotrice, mais bien à un déficit de la représentation du geste.

1.3.3. Modèle de Cermak (1985)

Cermak(1985) s'inspire plus directement des classifications des apraxies de l'adulte. Elle considère qu'il existe trois formes de dyspraxie :

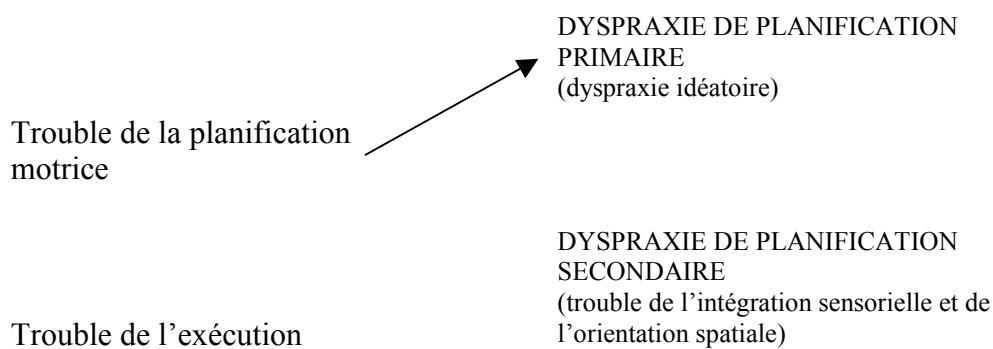




Figure 1 - Les trois formes de dyspraxie selon Cermark (1985).

La « dyspraxie de planification primaire » consiste en un trouble d'organisation conceptuelle touchant la maîtrise de la séquence des mouvements. Elle s'apparente ainsi à la conception de la dyspraxie selon Dewey, et correspond à l'apraxie idéatoire de l'adulte.

La « dyspraxie de planification secondaire » résulte d'un trouble d'orientation spatiale et d'intégration sensorielle. On retrouve ici la conception de la dyspraxie selon Ayres.

La « dyspraxie exécutive » se manifeste par une difficulté à exécuter une séquence motrice pourtant bien planifiée. Elle correspond à l'apraxie idéomotrice de l'adulte.

Apraxie idéomotrice : le patient a des difficultés à faire des gestes simples n'impliquant pas la manipulation d'objets réels, sur ordre verbal ou sur imitation visuelle, avec cependant préservation de l'exécution automatique de ces mêmes gestes lorsqu'ils surviennent dans la situation appropriée (Gil, 2000 ; Springer & Deutsch, 2000 ; Flessas & Lussier, 2001).

1.3.4. Modèle de Mazeau (1995)

- Modèle des fonctions practo-gnosiques :

La conception de la dyspraxie selon Mazeau (1995) sera présentée de façon plus détaillée. L'auteur adopte la définition neuropsychologique de la dyspraxie : un trouble des fonctions de planification et de pré-programmation des gestes volontaires. Elle précise qu'il s'agit d'un « trouble de la réalisation du geste, secondaire à l'impossibilité (ou à l'anomalie) de programmer automatiquement et d'intégrer au niveau cérébral les divers constituants sensori-moteurs et spatio-temporels du geste volontaire » (p. 67).

Mazeau (1995) expose un modèle cognitif intéressant des fonctions practo-gnosiques (cf. figure 2, ci-après). Elle distingue, parmi les fonctions cognitives, les

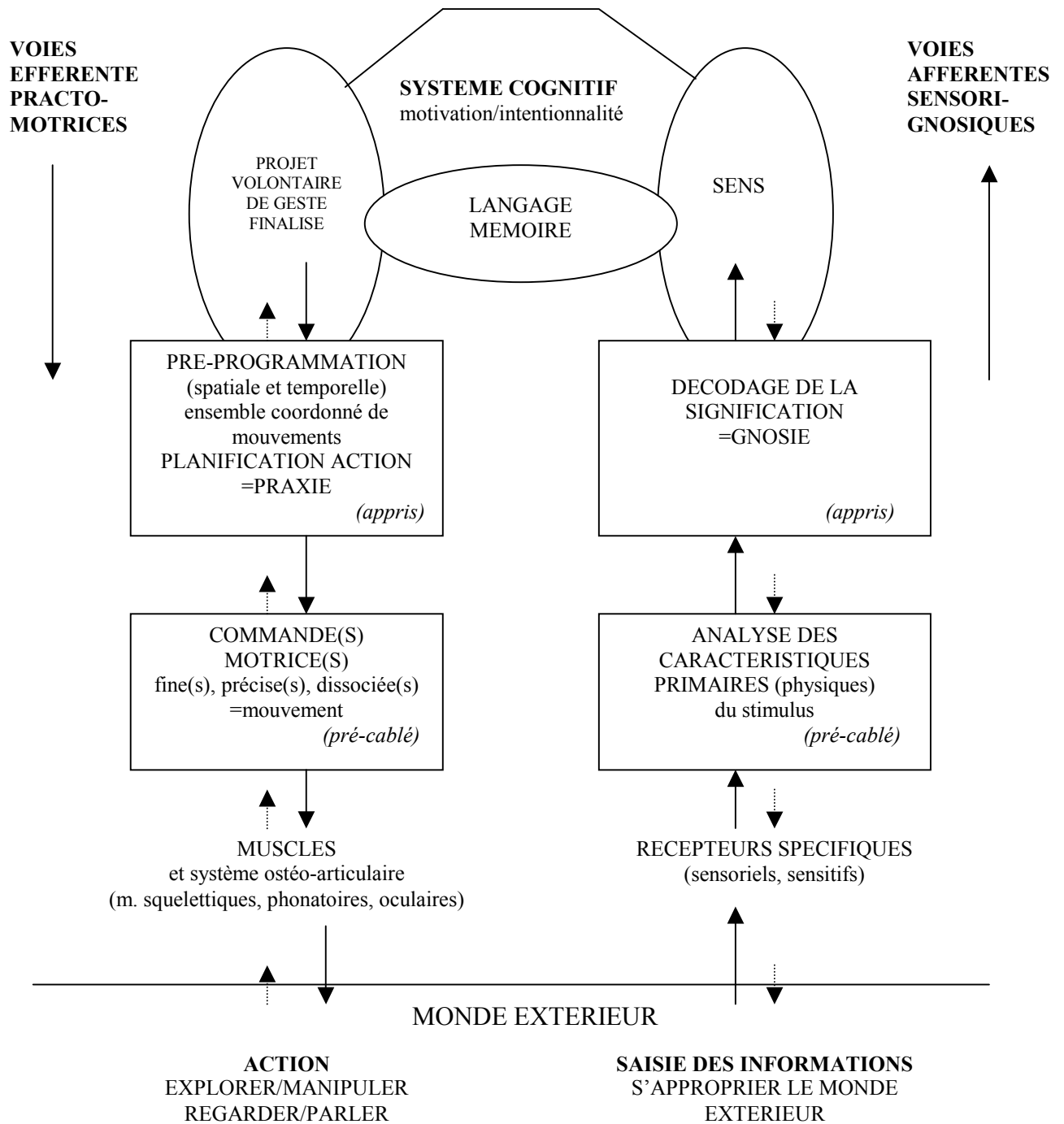


Figure 2 - Les voies practo-gnosiques selon Mazeau (1995).

Les flèches pleines indiquent les voies principales (afférentes ou efférentes selon le cas), et les flèches en pointillé indiquent la présence (non négligeable) de voies à contresens.

fonctions dites de haut niveau (ou « fonctions associatives ») qui assument des rôles qui sont plus que la simple somme des sous-ensembles qui la composent (par ex : le langage, la mémoire, la conceptualisation, l'abstraction...) et les fonctions plus locales,

dont les contenus sont plus nettement définis et qui constituent les outils élémentaires nécessaires à la construction des fonctions de haut niveau. Ce sont les « fonctions instrumentales », parmi lesquelles se trouvent les praxies, lesgnosies (capacité à décoder la signification d'un stimulus perçu que l'on a déjà rencontré auparavant), le regard...

Selon elle, les voies practo-gnosiques sont des fonctions instrumentales très importantes qui permettent de comprendre les processus sous-tendant de nombreux troubles cognitifs de l'enfant, dont les dyspraxies.

Les voies de l'action ou voies practo-motrices comprennent des effecteurs (les muscles), des voies de transmission (les nerfs, le tronc cérébral), la commande motrice (dans les aires motrices) et les fonctions praxiques de planification et de pré-programmation du geste.

Les voies sensorielles ougnosiques comprennent des récepteurs (récepteurs sensoriels), des voies de transmission, un premier traitement cortical de l'information qui consiste en une analyse des caractéristiques physiques du signal par les aires cérébrales primaires (cortex visuel, cortex auditif...), et les fonctionsgnosiques d'accès à la signification de l'information.

Lesgnosies comme les praxies sont progressivement acquises, soit de façon spontanée (par simple exposition à l'environnement), soit de façon volontariste par apprentissage explicite (par exemple : on peut m'apprendre par un apprentissage explicite à reconnaître une peinture cubiste – c'est unegnosie – ou à nouer mes lacets – c'est une praxie –).

On voit donc ici l'importance des praxies comme constituant des voies practo-gnosiques, qui sont des voies privilégiées d'échanges avec l'environnement.

Mazeau (1995) distingue les différentes dyspraxies de la façon suivante :

- Les dyspraxies idéatoire et idéomotrice sont celles où dominent les aspects de sériation temporelle dans la réalisation du geste. Ces formes de dyspraxies se rapportent à ce qui a été dit de l'apraxie de l'adulte (perturbation de l'utilisation d'objets, du mime, des séquences de gestes comme de mettre une lettre dans une enveloppe, etc.). Les difficultés à ce niveau se traduisent par une grande maladresse, par exemple pendant les repas (l'enfant mange salement, répand des aliments, se tâche, a des difficultés à manier correctement ses couverts, etc.).

- La dyspraxie de l'habillage présente, selon elle, une certaine importance, car celle-ci est très fréquemment retrouvée « pour autant qu'on la recherche ou qu'on écoute les plaintes des parents et des enseignants à ce sujet » (p. 86). Les enfants présentant cette forme de dyspraxie sont lents pour s'habiller, ils confondent le devant et le derrière, l'endroit et l'envers, ils cherchent, perplexes, quelle partie du vêtement correspond à quelle partie du corps...

- La dyspraxie constructive serait la conjonction :
 - d'une maladresse gestuelle à des degrés divers,
 - d'un « trouble de la construction », c'est-à-dire une difficulté dans toutes les tâches nécessitant l'assemblage de divers éléments (les jeux de construction comme les legos, mais aussi l'écriture où il faut assembler plusieurs segments pour former une lettre ou la pose d'une opération où il faut assembler et ordonner différents chiffres et signes).
 - et d'un déficit de la structuration spatiale touchant préférentiellement l'espace en deux dimensions (se manifestant par exemple par des difficultés à gérer l'espace-feuille dans les tâches scolaires).

Ces deux derniers troubles sont par définition liés puisque pour assembler divers éléments dans le but de former un tout il faut gérer la position dans l'espace (en deux ou en trois dimensions) de ces éléments les uns par rapport aux autres. Ils entraînent des difficultés scolaires comme une dysgraphie modérée due à ce trouble de l'assemblage des différents éléments qui forment une lettre et une dyscalculie dite « spatiale », qui se manifeste par des difficultés en géométrie et dans les opérations en colonne, deux tâches pour lesquelles l'aspect spatial détermine grandement la réussite.

Selon l'auteur (communication personnelle), le lien entre le trouble purement praxique (maladresse gestuelle) et les troubles de la construction et de la structuration spatiale est un lien de cooccurrence. L'hypothèse émise à ce jour pour expliquer cette cooccurrence serait une cause commune en amont (et non pas un lien de causalité entre l'un et les deux autres). Des anomalies fonctionnelles (au niveau pariétal, et probablement au niveau de l'hémisphère mineur) provoqueraient à la fois le trouble gestuel et le trouble constructivo-spatial, deux fonctions gouvernées par des centres localement proches dans le cerveau.

Plus précisément, elle distingue les dyspraxies constructives non-visuo-spatiales (NVS) et visuo-spatiales (VS). Les premières seraient cliniquement observées le plus souvent chez les enfants présentant une dyspraxie réellement développementale (c'est à dire sans antécédent lésionnel reconnu) et c'est ce type de population qui constitue le groupe expérimental. Les secondes sont, selon elle, observées chez des enfants présentant une dyspraxie pseudo développementale, c'est à dire qu'on considère que le trouble est développemental parce qu'il intervient très tôt et entrave le développement normal des praxies, même s'il est d'origine lésionnelle, ce qui est normalement un critère pour désigner un trouble acquis. C'est le cas de la majorité des infirmes moteurs cérébraux (IMC).

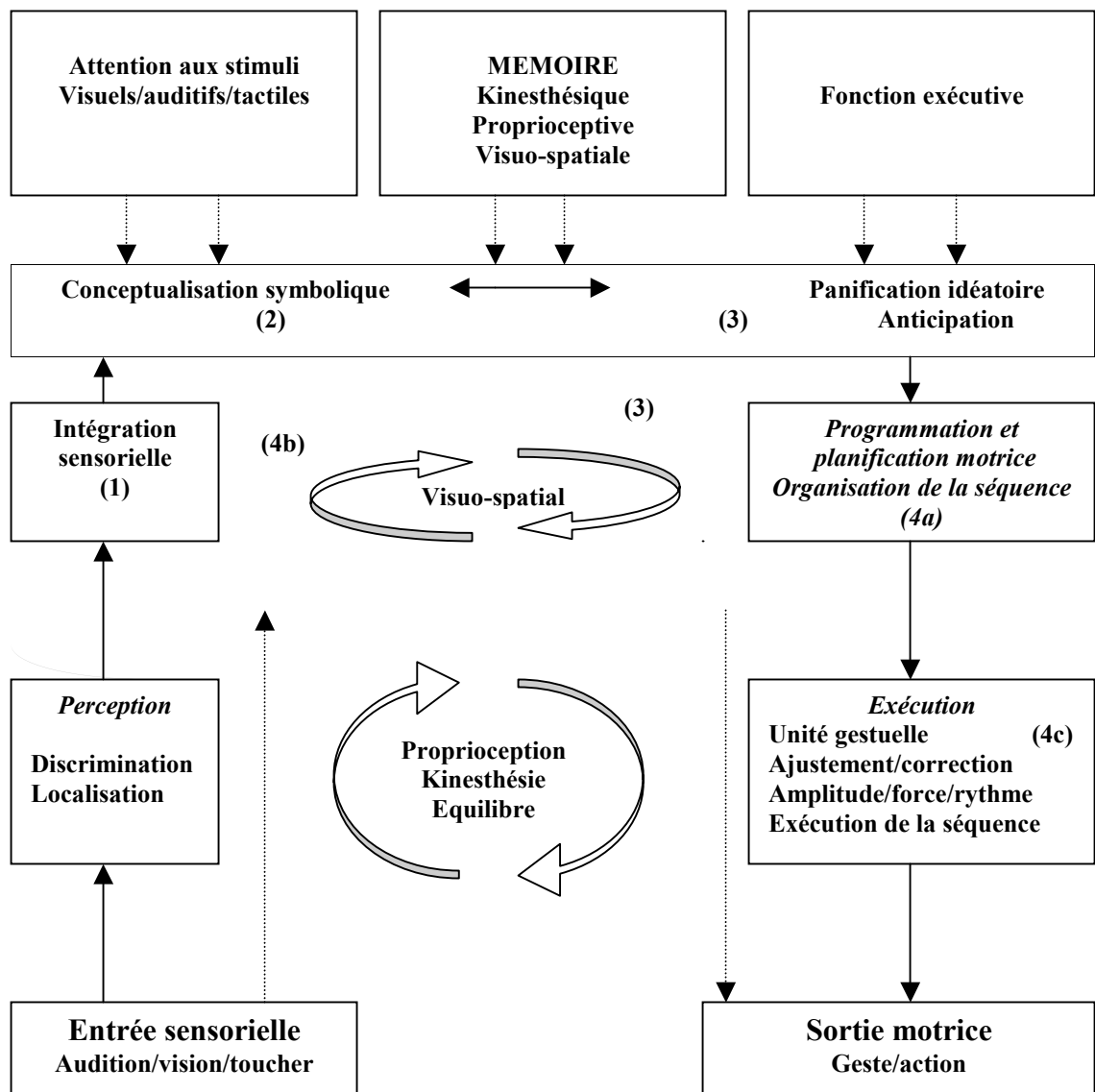
La dyspraxie constructive visuo-spatiale consiste en fait en une dyspraxie constructive simple à laquelle s'ajoute un trouble neurovisuel, (la dyspraxie constructive non visuo-spatiale étant tout simplement une dyspraxie constructive sans trouble neurovisuel).

Pour Mazeau, le regard est en soi une praxie, ce n'est donc pas étonnant que les enfants dyspraxiques aient fréquemment un trouble du regard. En effet, le regard peut être comparé à un réel geste de prise, les mouvements des globes oculaires ont pour objet d'amener le stimulus juste sur la fovéa, comme les mouvements de la main ont pour but d'amener tel petit objet au contact de la pince pouce-index. Par ailleurs les troubles du regard peuvent entraver l'apprentissage des praxies, puisque le regard détermine en grande partie la vue (je vois ce que mon regard fait entrer dans mon champ de vision) et la vue est une voie de la perception sensorielle nécessaire à la formation des praxies. En effet c'est la perception sensorielle du résultat d'un geste (notion de feedback) qui permet de corriger les paramètres temporels et spatiaux de ce geste pour l'avenir, et donc de mettre en place ces schémas de planification du geste que sont les praxies. Les praxies et le regard sont donc doublement liés : le regard est une praxie et il est un élément déterminant pour la mise en place des autres praxies.

Cette forme de dyspraxie ne sera cependant pas plus développée, car le travail présenté ici porte sur une population d'enfants dyspraxiques scolarisés en milieu ordinaire. Il ne s'agit pas d'IMC, ils présentent donc surtout une dyspraxie constructive simple.

1.3.5. Intégration de ces quatre modèles par Lussier & Flessas (2001)

Lussier & Flessas (2001) estiment que chacun des quatre modèles, pris séparément, ne considère qu'une partie des difficultés observables chez les enfants dyspraxiques. Aussi



(1) : position de AYRES

(2) : position de DEWEY

(3) : position de MAZEAU

(4) : position de CERMARCK

(4a) : Dyspraxie idéatoire

(4b) : Dyspraxie de planification secondaire

(4c) : Dyspraxie idéomotricité

Figure 3 - Modèle intégratif de la dyspraxie développementale (Flessas & Lussier, 2001).

proposent-elles un modèle intégratif (voir figure 2 ci avant) de la dyspraxie sur la base de ces modèles. Le trajet neurologique (simplifié) lors de l'élaboration d'un geste ou d'une praxie débute avec les "récepteurs" (les entrées sensorielles) d'où l'influx nerveux se dirige par les voies

afférentes vers les centres supérieurs dans les aires associatives. L'intégration sensorielle permet ensuite l'élaboration conceptuelle de la signification du geste et entraîne la constitution du répertoire des gestes déjà maîtrisés. De là s'élabore la commande motrice. La double flèche entre la conceptualisation symbolique et la planification idéatoire intervient dans le cas où le schéma gestuel est déjà automatisé. Par la suite le trajet emprunte les voies efférentes et aboutit aux effecteurs qui permettent la production du geste. La proprioception, la kinesthésie et les indices visuo-spatiaux contribuent à la planification motrice.

1.4. La réalité quotidienne des enfants dyspraxiques

Ces distinctions entre différentes dyspraxies, souvent inspirées des différentes apraxies acquises, sont de l'ordre de la théorie. Dans la pratique, les manifestations sont très variables et ne se délimitent pas si facilement. La plupart des enfants dyspraxiques présentent en fait plusieurs dyspraxies comme par exemple une dyspraxie idéatoire ou idéomotrice (maladresse gestuelle), une dyspraxie de l'habillage et enfin une dyspraxie constructive. Comme il l'était déjà suggéré plus haut, dans l'ensemble un enfant dyspraxique se repère à sa grande maladresse bien sûr (il casse beaucoup, se cogne souvent, il ne sait pas couper sa viande, mange salement, ne sait pas s'habiller seul...), au fait qu'il fasse des dessins très pauvres pour son âge, souvent qualifiés à tort d'« immatures », qu'il n'aime pas jouer aux jeux de construction (legos, clippos, cubes, puzzles...) et préfère les jeux d'imagination (se déguiser, jouer à la maîtresse, raconter des histoires...). L'examen psychométrique (WISC) révèle un QI Verbal nettement supérieur au QI Performance, de l'ordre des 15 points d'écart, et une hétérogénéité intra-échelle avec plus précisément un échec aux sub-tests « Cubes », « Assemblage d'objets » et « Code » de l'échelle de performance, contrastant avec une réussite au sub-test « Complètement d'images », seule épreuve de cette échelle qui ne soit ni praxique ni spatiale, et des performances normales ou supérieures aux épreuves de l'échelle verbale, à l'exception du sub-test « Arithmétique » fréquemment échoué. A l'école, l'enfant dyspraxique peut présenter des difficultés graphiques, ses cahiers sont sales, brouillons, mal tenus ; il ne sait pas utiliser une règle, ni des ciseaux, ni une gomme, et encore moins une équerre ou un compas. Il a des difficultés à se repérer sur la page, il a du mal à situer les uns par rapport aux autres les différents éléments d'un schéma ; il est en

échec pour toutes les activités très chargées en facteur spatial, telles que les tableaux à double entrée, la géométrie, etc.

J'ai décidé, encouragée par les parents, les associations et les médecins scolaires (ainsi que par le Dr Mazeau a posteriori) de m'intéresser en particulier aux difficultés rencontrées en cours de mathématiques, et de leur lien supposé avec le trouble de la structuration spatiale.

2. Les enfants dyspraxiques et les mathématiques

Si on parcourt la littérature sur la construction du nombre chez l'enfant, sur les différentes techniques de calcul et sur la résolution d'opérations en colonnes, on s'aperçoit qu'un certain nombre de tâches appartenant au domaine des mathématiques peuvent poser problème à l'enfant dyspraxique.

2.1. A propos du dénombrement

C'est une étape indispensable à la mise en place de la notion de nombre. En effet, c'est en faisant de nombreux dénombrements successifs d'objets (ou de ses doigts) que l'enfant perçoit l'invariance du nombre. Pour pouvoir dénombrer, l'enfant doit connaître la litanie des nombres, pouvoir pointer les éléments un à un sans en oublier et sans compter le même deux fois, et coordonner ces deux tâches c'est-à-dire coordonner le déroulement de la litanie avec le pointage de chacun des éléments de la collection. L'enfant doit également avoir compris que le dernier mot-nombre prononcé représente aussi l'ensemble de la collection à dénombrer (notion de cardinalité). La tâche de pointage de chaque objet exactement une fois requiert des capacités de gestion de l'espace car l'enfant doit sans cesse délimiter mentalement l'espace des objets non encore pointés et celui des objets déjà comptés. Les enfants dyspraxiques pourraient alors avoir des difficultés à dénombrer du fait de leur trouble de la gestion de l'espace. Selon certains auteurs (Mazeau, 1995 ; Van Hout & Meljac, 2001), ces enfants font de fréquents « surcomptages » et oublis d'objets et arrivent alors, pour une même collection, à un résultat différent à chaque dénombrement, ce qui ne permet pas la mise en place de la notion d'invariance du nombre et met

donc en danger la construction du nombre chez ces enfants. Pour ces auteurs, les difficultés en mathématiques que connaissent les enfants dyspraxiques viendraient en partie de cette mauvaise mise en place de la notion de nombre.

2.2. A propos du « calcul »

Selon Fayol (1990), il existerait deux stratégies pour additionner des chiffres de 1 à 9, le comptage (avec plusieurs variantes : avec ou sans le support des doigts, comptage à partir de 1 ou à partir du plus grand des deux chiffres, etc.), et la récupération en mémoire à long terme (MLT) de faits numériques qu'on connaît « par cœur ». Enfants et adultes feraient appel au comptage et à la récupération en MLT, mais la proportion de comptage diminuerait avec l'expérience en faveur de la récupération en MLT. Il existe également d'autres méthodes d'additions de chiffres de 1 à 9, alliant par exemple comptage et récupération en MLT, comme pour le calcul de $6 + 7$ qui peut se faire en deux étapes : $6+6=12$ (récupération en MLT) et $12+1=13$ (comptage). Que l'enfant utilise l'une ou l'autre méthode (et bien souvent il utilise les deux au cours d'une même addition), les erreurs seront différentes :

Lors de la récupération en MLT, certains facteurs peuvent intervenir comme par exemple la proximité entre tables d'additions et de multiplications qui peut engendrer des confusions telles que $6*2=8$ (Dehaene, 1997). Pour Van Hout & Meljac (2001), les enfants dyspraxiques présentent un déficit de ces faits numériques, déficit secondaire aux déviances de l'acquisition du nombre évoquées ci-dessus. Face à ce déficit des faits numériques, ils peuvent soit recourir d'eux-mêmes systématiquement au comptage, soit utiliser leurs connaissances déficientes des faits numériques et produire des erreurs de calcul. Pour Mazeau (1995) au contraire, les bonnes capacités en mémoire verbale de ces enfants leur permettent d'acquérir une bonne connaissance des faits numériques.

Le comptage sur les doigts nécessite de manière similaire au dénombrement la capacité à débiter correctement la comptine verbale des nombres, à relever (ou toucher) les doigts sans faire d'oublis ni relever deux fois le même, et à coordonner ces deux activités. Il faut de plus en réalité faire un double comptage, celui du résultat qu'on cherche c'est-à-dire de l'addition des deux nombres et celui du nombre qu'on ajoute pour savoir quand s'arrêter de compter (par exemple

pour additionner $4+3$ on compte « 4, 5(1), 6(2), 7(3, je m'arrête), ça fait 7 ». Pour Mazeau (1995), l'enfant dyspraxique connaît les mêmes difficultés pour le comptage que pour le dénombrement s'il compte sur ses doigts (difficulté à relever un à un les doigts au même rythme que la récitation de la litanie des nombres sans en oublier un ni compter deux fois le même).

Si l'enfant compte « dans sa tête » et non pas sur ses doigts, seul le problème du double comptage se pose. Mazeau ne parle pas d'une difficulté de la gestion de ce double comptage, mais ce n'est pas à exclure.

2.3. A propos de la résolution d'opération en colonnes

Cette tâche nécessite, elle aussi, un certain nombre de capacités. Il faut pouvoir reconnaître l'opérateur et donc l'opération à effectuer, gérer la séquence des étapes des algorithmes liés à l'opération en question, faire des calculs intermédiaires exacts (soit par une bonne récupération en MLT des faits numériques soit par un comptage sans erreur), gérer les zéros intercalaires (le zéro dans 206 par exemple), gérer les procédures de report et d'emprunt et enfin maîtriser la disposition spatiale des différents éléments du calcul (Pesenti & Seron, 2000). Ces différentes composantes peuvent être atteintes sélectivement. Elles engendrent des erreurs spécifiques et font l'objet de nombreuses recherches sur l'acalculie de l'adulte. Sander (1997), dans son mémoire de thèse portant sur la résolution de la soustraction en colonne, liste les différents « bugs » qui peuvent surgir au cours d'une telle tâche. Pour lui ces « bugs » peuvent provenir d'une mauvaise gestion de chacune des composantes ci-dessus, ou encore de l'application inappropriée de procédures tirées d'autres situations (par exemple certains « bugs » dans les soustractions s'expliquent par le fait que l'enfant fait appel à la définition sémantique de ce que c'est que soustraire dans la vie quotidienne – notion d'enlever pour certain, notion de distance d'un point à l'autre pour d'autres –).

Les enfants dyspraxiques ont une probabilité plus élevée que les autres de faire des « bugs » dus à un déficit de deux des composantes citées par Pesenti & Seron (2000) : les calculs intermédiaires (pour Mazeau cela n'arrive que s'ils comptent sur les doigts et pour Van Hout & Meljac cela arrive aussi s'ils font de la récupération en MLT) et la gestion de la disposition spatiale des éléments du calcul (Mazeau, 1995 ; Van Hout & Meljac, 2001). En effet résoudre

une opération en colonnes nécessite une gestion complexe de l'espace-feuille puisqu'il faut pouvoir aligner correctement les chiffres, tant en ligne qu'en colonne, gérer le positionnement des retenues, le sens de lecture (on lit les nombres de gauche à droite mais on résout une addition en colonne en partant de la droite et en allant vers la gauche), etc. On se doute qu'un déficit de la structuration spatiale rend difficile une telle tâche.

Puisqu'il faut faire un choix, ce travail porte, parmi toutes les difficultés que peut rencontrer un enfant dyspraxique en mathématiques (du dénombrement quand il est petit, aux activités arithmétiques – calcul, opération en colonnes – et à la géométrie), sur la résolution d'opération en colonnes. Il aurait été intéressant de travailler sur la multiplication, opération pour laquelle l'aspect spatial est très prégnant, mais il n'a pas été possible de trouver suffisamment d'enfants dyspraxiques au-delà du CE2 ; or la multiplication ne s'apprend à l'école que fin CE2. Il en va de même pour la soustraction, et la division n'est abordée que plus tard encore. Il s'agit donc ici d'additions en colonnes. La gestion de la disposition spatiale des différents éléments y est certes moins complexe que pour la multiplication, mais elle reste un élément nécessaire à la réussite de la tâche.

Je suis donc partie de l'assertion de Mazeau (1995) et Van Hout & Meljac (2001) attribuant les erreurs des enfants dyspraxiques lors de la résolution d'opérations en colonnes à des difficultés de gestion de l'espace et éventuellement à des erreurs de calcul. En annexe 1, deux ordinogrammes (figures 4 et 5) modélisent la pose et la résolution d'additions en colonnes. Les erreurs supposées des enfants dyspraxiques y sont également représentées. Mazeau (ibid.) et Van Hout & Meljac (ibid.) ne mentionnent aucune étude auprès d'enfants dyspraxiques montrant ces deux sources d'erreurs. Il s'agit donc ici d'une part de vérifier cette proposition et d'autre part d'explorer des possibilités d'aides palliatives ou rééducatives.

L'hypothèse de travail est la suivante : les difficultés que peuvent rencontrer les enfants dyspraxiques en réalisant une addition en colonnes sont essentiellement d'ordre spatial. Si on décharge la tâche de ces aspects, les enfants dyspraxiques ont des performances similaires et font des erreurs de même nature que les enfants non-dyspraxiques (avec éventuellement plus d'erreurs de calcul selon qu'ils comptent ou font appel à leur MLT et selon les auteurs).

Partie expérimentale

1. Expérience 1

1.1. Caractéristiques des participants

Le groupe expérimental est constitué de 9 enfants scolarisés en milieu ordinaire. 4 enfants sont en classe de CE1, 4 en classe de CE2 et un en classe de CM2 (au départ 5 enfants de CE2 étaient prévus mais l'un d'entre eux a finalement refusé de participer pour des raisons familiales. Comme j'avais vu également un enfant de CM2 que je ne comptais pas inclure dans mon groupe puisqu'il n'était pas en CE1 ou CE2 comme les autres, nous avons décidé, ma directrice de maîtrise et moi, d'exploiter quand même son protocole tout en étant prudentes du fait de son niveau scolaire différent. Les analyses statistiques seront donc faites une fois avec et une fois sans le protocole de cet enfant).

Leurs coordonnées ont été obtenues grâce à la collaboration de l'association Coridys présidée par Ariel Conte et de trois psychomotriciennes exerçant à Marseille.

Les enfants sont âgés de 6.7 à 9.2 ans (âge moyen : 8.3 ans, écart type 0.7 ans), un enfant a redoublé une fois et deux autres ont sauté une classe. Le fait que deux enfants aient sauté une classe peut paraître étonnant pour des enfants censés avoir des difficultés scolaires. Cela provient du fait qu'une des trois psychomotriciennes reçoit très fréquemment des enfants jugés « intellectuellement précoces ». Les enfants de cette catégorie ont été refusés afin d'obtenir un groupe d'enfant n'ayant pas d'autre particularité reconnue que la dyspraxie (ont également été écartés les enfants chez lesquels on a diagnostiqué un trouble de l'attention ou un trouble du langage). Cependant certains enfants du groupe expérimental sont peut-être à la limite de cette « précocité » et ont en tout cas une vivacité intellectuelle qui leur permet de compenser leurs faiblesses, voire de sauter une classe.

Ces enfants proviennent en majorité de milieu socioculturel plutôt favorisé puisque leurs parents sont suffisamment informés et motivés pour s'adresser à une association de professionnels ou pour mener leur enfant à des séances de psychomotricité non remboursées.

Le groupe est constitué de 7 garçons et 2 filles, ce qui correspond bien aux données épidémiologiques citées plus haut.

Ils présentent tous une dyspraxie constructive, éventuellement associée à d'autres troubles praxiques. Leur dyspraxie constructive a été succinctement testée à l'aide de trois tâches : la figure de Rey en copie et les sub-tests « Cubes de Kohs » et « Similitudes » de la WISC-R, censés être respectivement échouées pour les deux premières et réussies pour la troisième par les enfants dyspraxiques. Les enfants du groupe contrôle ont également dû faire la figure de Rey en copie, ce qui permet d'écartier d'éventuels soupçons de dyspraxie chez eux. La figure de Rey et quelques exemples de production des participants sont présentés en annexe 2 et le détail des résultats aux trois tests en annexe 3.

On estime qu'il faut soupçonner une réelle dyspraxie pour des performances à la figure de Rey inférieures ou égales à -1 écart-type. En ce qui concerne les deux sub-tests de la WISC, on s'attend chez un enfant dyspraxique à un écart de l'ordre de 2 à 3 points en faveur de sub-test similitude.

Un enfant du groupe contrôle avait obtenu une note de -2 écarts types à la figure de Rey, il a donc fallu l'éliminer de ce groupe. Les enfants restants ont obtenu des notes allant de -0.88 à +0.31 écarts-types (moyenne : -0.25, écart-type 0.44).

Les notes à la figure de Rey des enfants du groupe expérimental vont de -5 à -1 écarts-types (moyenne : -2.78, écart-type 1.5). Leurs notes standard aux Cubes de Kohs vont de 6 à 11 (moyenne : 8.56, écart-type : 1.81). Leurs notes standard au sub-test « Similitudes » vont de 8 à 13 (moyenne : 10.22, écart-type : 1.72). La différence entre les deux sub-tests est de 1.67 points en moyenne en faveur du sub-test similitude, avec un écart-type de 2.12.

On voit que les enfants du groupe expérimental sont très hétérogènes quant à leur degré de dyspraxie. Les enfants contactés par le biais de l'association Coridys (participants 5 et 9) sont les plus touchés parce qu'il s'agit en général de cas assez graves pour que les parents s'en inquiètent fortement et, ne sachant pas vers qui se tourner, cherchent un soutien dans une association. Les enfants contactés grâce aux psychomotriciennes (les 7 autres) présentent une dyspraxie plus légère, qui en plus est atténuée à des degrés divers par la rééducation, selon le nombre de séances ayant déjà eu lieu au moment où je les ai vus.

La constitution d'un tel groupe hétérogène relève d'une approche dimensionnelle (versus catégorielle) de la dyspraxie. Un trouble présente toujours des degrés différents de gravité (ici par exemple les performances à la figure de Rey vont de -1 à -5 écarts types) et une hétérogénéité dans ses manifestations (certains enfants, par exemple, ont été en difficulté pour la figure de Rey et pour les Cubes de Kohs alors que d'autres n'ont présenté une difficulté que pour la figure de Rey et ont un écart nul entre les notes aux Cubes de Kohs et au test de similitude, avec même une atypie chez le participant 6 – un écart de 2 points en faveur des Cubes de Kohs –). Vouloir constituer un groupe homogène d'enfants dyspraxiques est d'une part une tâche quasiment impossible et d'autre part risque de faire passer à côté de la réalité du trouble dyspraxique qui est un trouble hétérogène.

Le groupe contrôle était au départ constitué de 9 enfants issus d'une école primaire située dans un quartier populaire de Salon de Provence (les deux groupes ne sont donc pas appariés sur le niveau socioculturel).

Les 9 enfants du groupe contrôle ont été choisis parmi les 20 élèves de cette classe de CE1/CE2 sur le critère de leur âge, leur sexe et le nombre de redoublements. L'appariement entre les deux groupes sur ces critères fut cependant limité par les possibilités de la classe. Il n'y avait en effet aucun enfant ayant sauté une classe, et un prorata fille/garçon ne permettant pas un appariement au plus juste.

Le groupe contrôle était donc constitué de 5 enfants de CE2 et 4 de CE1, il s'agissait de 4 garçons et 5 filles, âgés de 7.4 à 9.7 ans (âge moyen : 8.4 ans).

Comme il l'a été précisé ci-dessus, il a fallu éliminer un enfant du groupe contrôle après cotation de la figure de Rey. C'est pourquoi ce groupe qui devait au départ être constitué de 9 enfants comme le groupe expérimental, ne l'est finalement que de 8 enfants. Il s'agit donc de 4 enfants de CE2 et 4 enfants de CE1, 4 garçons et 4 filles, âgés de 7.4 à 9.7 ans (âge moyen : 8.3 ans, écart-type 0.8 ans). Deux d'entre eux ont redoublé une fois.

L'ensemble de ces informations sur les enfants des deux groupes se trouve en annexe 4.

1.2. Facteurs expérimentaux

Le but de l'expérience était de vérifier que les difficultés rencontrées par les enfants dyspraxiques lors de la résolution d'additions en colonnes sont bien de nature spatiale ; et de voir si une aide consistant à décharger la tâche de son aspect spatial permettrait de supprimer ces difficultés présumées. Cette recherche exploratoire devrait permettre d'ouvrir des pistes sur les aides possibles à proposer à ces enfants.

La tâche consiste à faire des additions en colonne présentées dans les mêmes conditions qu'à l'école, c'est-à-dire écrites à la main sur une feuille de format A4.

L'aide ayant pour but de décharger la tâche de ses aspects spatiaux est de deux sortes:

- les additions sont déjà posées (ce qui élimine donc les difficultés spatiales liées à la pose de l'opération),
- l'expérimentateur se charge de l'écriture, ce qui élimine les imprécisions spatiales puisque l'enfant n'a qu'à lui désigner verbalement ou avec le doigt le lieu où il doit écrire tel chiffre et si cette désignation est dans l'ensemble bonne quoique imprécise quant à l'alignement exact des chiffres, l'expérimentateur rectifie et place le chiffre au bon endroit, comme le font de nombreux logiciels informatiques. Si cette aide s'avère efficace, cela peut constituer une piste pour une aide assistée par ordinateur.

Les facteurs expérimentaux sont donc :

- la « situation » dans laquelle l'enfant travaille et les deux modalités de ce facteur sont : « seul » (c'est l'enfant qui écrit) ou « aidé » (l'expérimentateur écrit sous sa dictée). Il est noté S^{o2} (seul Vs aidé).
- la « position » de l'addition : elle est soit « déjà posée » soit « en ligne » donc à poser. Il est noté P^{o2} (posée Vs ligne).

Les hypothèses opérationnelles sont les suivantes : les enfants dyspraxiques devraient « réussir » mieux leurs additions dans la condition « aidé » que dans la condition « seul » et dans la condition « déjà posée » que dans la condition « en ligne ». Ces « aides » sont censées aider les enfants dyspraxiques en palliant leur trouble de la structuration spatiale, mais pas les enfants du groupe contrôle qui, eux, n'ont pas ce trouble. L'aide ne devrait donc pas être bénéfique pour ceux-ci et ils devraient donc obtenir les mêmes résultats dans toutes les conditions.

Chaque enfant passe les quatre conditions issues du croisement de ces deux facteurs. Il y a trois additions par condition, ce qui fait un total de 12 additions. Il aurait été difficile d'en demander plus aux enfants et 3 opérations par condition sont suffisantes pour faire par la suite les analyses statistiques nécessaires.

Nous avons décidé de choisir un ordre fixe, en accord avec le principe de difficulté croissante qui consiste à présenter les tâches les plus difficiles en dernier, afin d'éviter tout effet de découragement et de blocage. En partant du principe que notre « aide » facilitait bien la tâche nous avons donc proposé les quatre séries de trois additions dans l'ordre suivant : condition « aidé avec additions posées », puis « aidé avec additions à poser », puis « seul avec additions posées » et enfin « seul avec additions à poser ».

Il serait cependant intéressant de vérifier dans une étude ultérieure s'il n'y a pas un effet de cet ordre, tel que des erreurs dues à la fatigue et non pas à la condition « seul » ou « addition à poser » pour la ou les 2 dernières séries d'additions.

La feuille de passation comportant les 12 additions ainsi que les consignes se trouve en annexe 5.

Le plan expérimental est donc : $S_9 < G_2 > * S^{\circ 2} * P^{\circ 2}$ (où G désigne le facteur groupe qui a deux modalités : groupe expérimental et groupe contrôle).

1.3. Construction du matériel

Il s'agit d'additions assez difficiles à l'instar des soustractions de Sander (1997). Il avait demandé à des enfants qui ne l'avaient pas encore appris à l'école de faire des soustractions avec retenues, dans le but de faire surgir les « bugs » que font spontanément les enfants face à une impasse. Cela devrait permettre ici aussi de faire apparaître plus nettement les difficultés supposées du groupe expérimental et d'éviter l'«effet plafond». La difficulté de ces additions a été testée sur deux enfants de CE1 et de CE2 et a paru convenir.

Il s'agit donc d'additions de trois nombres à trois chiffres dont le résultat est supérieur à 1000 et qui nécessitent la gestion de deux retenues (plus la gestion du chiffre des mille). Le résultat de chacune des trois colonnes est donc supérieur à 9.

Il n'y a aucun zéro, ni dans les chiffres à additionner ni dans le résultat, parce qu'il est connu que le zéro représente une difficulté supplémentaire dans la résolution d'opérations en colonnes et ce n'était pas l'objet de cette recherche. Dans les nombres à additionner, on ne trouve pas non plus deux fois le même chiffre l'un à côté de l'autre, en colonne comme en ligne, ce qui permet d'éviter les confusions lorsque l'enfant dicte oralement à l'expérimentateur « mets le 3 en dessous du 2 ».

La difficulté des additions pour chaque groupe d'addition a été contrôlée à l'aide de deux critères : dans chaque groupe, le même nombre de colonnes a un résultat supérieur à 15 et le même nombre un résultat inférieur à 15 ; les calculs intermédiaires qui paraissent nettement plus faciles que les autres tels que les doubles (8+8) et les complémentaires pour faire 10 (6+4) ont été évités.

1.4. Passation

La passation a eu lieu à domicile pour le groupe expérimental et, pour le groupe contrôle, dans une salle de classe vide attenante à celle de l'institutrice, où les enfants ont été vus un par un.

L'enfant devait lire la consigne (voir la feuille de passation en annexe 5) et s'il semblait qu'il avait des difficultés à le faire, je la lisais à haute voix. En tout début de passation l'enfant devait faire deux petites additions. Il s'agit d'un entraînement qui permettait de vérifier que la consigne avait été comprise.

Dans l'ensemble, la durée de passation était de 20 minutes, à l'exception d'un enfant (participant 9) pour qui cela était trop fatigant et pour lequel la passation a dû se faire en deux fois.

Je demandais une fois, éventuellement deux, à l'enfant de compter à haute voix s'il le pouvait, car cela facilitait grandement la notation des protocoles (voir plus loin). Mais je

n'insistais pas puisqu'on sait que forcer une personne à verbaliser ce qu'elle fait peut perturber sa réalisation de la tâche.

Conformément au Code Déontologique des psychologues, il fallait également « s'occuper » des enfants de la classe qui n'appartenaient pas au groupe contrôle, afin d'éviter toute frustration ou inquiétude quant à la question de savoir pourquoi ils n'étaient pas choisis. Ces enfants ont donc été vus un par un en fin d'après-midi. Je leur ai demandé de faire deux des additions de la feuille et de mettre leur prénom, en leur expliquant qu'il n'y avait plus assez de temps pour qu'ils fassent la feuille entière parce que ça allait bientôt sonner mais que j'avais besoin qu'ils en fassent deux quand même.

1.5. Notation des protocoles

Les protocoles des enfants sont présentées en annexe 6.

L'ordre dans lequel les enfants ont posé et additionné les chiffres a été noté sur une feuille d'observation présentée en annexe 7. Des informations plus générales ont également été notées, telles que le fait que l'enfant ait oublié de compter la retenue ou pas, par exemple (sauf pour les enfants qui n'ont pas verbalisé du tout, il est alors difficile de savoir s'ils l'ont oublié ou pas).

Plusieurs variables dépendantes (VD) ont ainsi pu être dégagées. Tout d'abord le nombre d'opérations justes au total et pour chaque groupe d'additions. L'analyse des protocoles individuels a permis de lister les différentes catégories d'erreurs. Les plus courantes sont l'oubli de la retenue (les enfants n'oubliaient pas de l'écrire mais de la compter), les erreurs de calculs intermédiaires (c'est-à-dire que le résultat d'une colonne est faux et cela n'est dû ni à l'oubli de la retenue, ni à l'oubli ou au « sur comptage » d'un chiffre) et l'oubli ou le « surcomptage » de chiffres autres que la retenue dans le calcul d'une colonne. Ces trois types d'erreurs, notées respectivement R (comme « retenue »), C (comme « calcul ») et OS (comme « oubli » et « surcomptage »), ont pu faire l'objet d'une analyse statistique, les autres seulement d'une analyse de protocoles individuels.

En ce qui concerne les erreurs de calcul (C) et les erreurs d'oubli de la retenue (R), il a parfois été impossible de déterminer si une erreur faisait partie de l'une ou de l'autre catégorie lorsque le résultat était faux à un point près (l'enfant a trouvé 8 au lieu de 7) et que le calcul n'a pas été fait

à haute voix. Cette catégorie est notée « C ou R ». En tant que catégorie « indécidable », elle ne fait pas l'objet d'analyses statistiques.

Un des enfants (participant 8) n'avait jamais fait d'additions sur des nombres à trois chiffres et n'en connaissait donc pas la technique. Il se trouvait alors devant une impasse, qu'il a tenté de résoudre en posant la première retenue sur la colonne la plus à gauche, ce qui n'est pas dénué de sens puisque c'est ce que l'on fait avec les additions de nombres à deux chiffres. Il se retrouvait alors coincé pour placer la seconde retenue et ne la mettait donc pas. N'étant pas sûr de sa solution au problème, il a vite abandonné et n'a plus posé de retenue du tout. Puisque cette erreur de procédure, non pas due au fait qu'il ne l'avait pas comprise mais au fait qu'il ne l'avait pas encore apprise, ne présentait pas d'intérêt pour cette étude, il en a été fait abstraction dans la notation de son protocole afin de faire apparaître les autres erreurs.

1.6. Résultats

L'ensemble des résultats faisant l'objet d'une analyse statistique (nombre d'opérations justes, nombre d'erreurs de chaque type) pour les deux groupes est présenté en annexe 8. Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 6.3 opérations justes sur les 12 opérations qu'il y avait à faire (avec un écart-type de 4.1) et ceux du groupe contrôle en moyenne 6.9 opérations justes (écart-type : 3.6). Les enfants des deux groupes ont donc, dans l'ensemble, moyennement bien réussi ces opérations (qui étaient difficiles, comme il l'a été précisé plus haut).

Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 5.1 erreurs de calcul avec un écart-type de 4.9. Cependant, le participant 9 a fait, à lui seul, 16 de ces erreurs, ce qui peut être considéré comme une valeur extrême qui risque de fausser les analyses statistiques. Si on élimine cette valeur extrême, les enfants du groupe expérimental ont alors fait 3.7 erreurs de calcul en moyenne, avec un écart-type de 3. Les enfants du groupe contrôle, eux, ont fait en moyenne 2.6 erreurs de calcul, avec un écart-type de 1.8.

Les enfants du groupe expérimental n'ont fait aucune erreur d'oubli de la retenue, ceux du groupe contrôle en ont fait 0.9 en moyenne (écart-type : 1.1).

Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 1.2 erreurs d'oublis ou de surcomptages de chiffres (écart-type 2), tandis que les enfants du groupe contrôle n'en ont fait aucune.

1.6.1. Analyse statistique

L'ensemble des tableaux issus de l'analyse statistique pour l'expérience 1 est présenté en annexe 9.

- L'analyse par schéma à mesures répétées avec comme facteur « inter » le facteur groupe (G) permet de comparer le nombre d'opérations justes en fonction de la condition et du groupe.

Selon cette analyse aucun des facteurs groupe (G), situation (S°), position (P°), ainsi que les interactions $G*S^\circ$, $G*P^\circ$, $S^\circ*P^\circ$, et $G*S^\circ*P^\circ$ ne présentent un effet significatif sur le nombre d'opérations justes, avec des valeurs F de Fischer inférieures à 1.

L'absence d'effet significatif du facteur groupe (G) signifie que toutes conditions confondues, on ne peut pas montrer de différence entre les deux groupes quant au nombre total d'opérations justes.

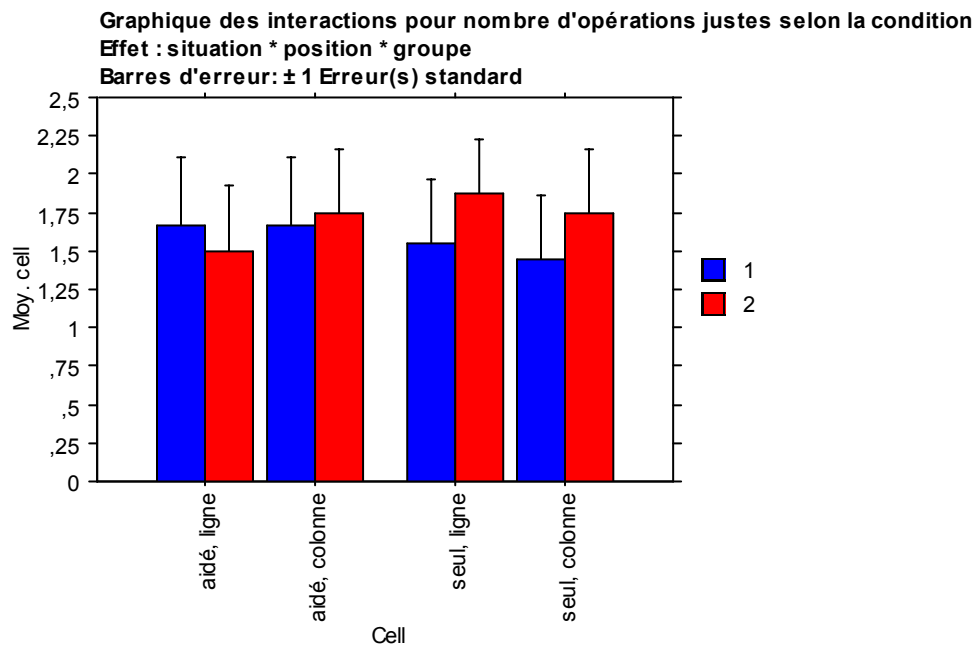


Figure 6 – Nombre d'opérations justes en moyenne, en fonction du groupe et de la condition.

L'absence d'effet significatif du facteur situation (S°) signifie que si on prend les deux groupes confondus, on ne peut pas montrer de différence entre les résultats aux opérations calculées avec et sans l'« aide » qui consistait à écrire pour eux.

L'absence d'effet significatif de l'interaction $G*S^\circ$ signifie qu'on ne peut pas montrer un effet plus bénéfique de cette « aide » pour un groupe que pour l'autre, contrairement à ce qui

était attendu, puisque cette « aide » devait aider les enfants dyspraxiques et pas les enfants du groupe contrôle. Cette « aide » n'a donc pas présenté l'efficacité attendue.

Il en va de même pour la seconde « aide » qui consistait à donner des opérations déjà posées puisqu'il n'y a pas d'effet significatif du facteur P° ni de l'interaction G*P°.

- L'analyse par schéma à mesures répétées des erreurs de calcul (C), d'oubli de la retenue (R) et d'oubli ou de surcomptage d'un chiffre (OS), avec comme facteur « inter » le facteur groupe (G), permet de comparer l'apparition de ces erreurs en fonction du groupe et de la condition. Elle ne fait apparaître, ici non plus, aucun effet significatif des facteurs groupe (G), situation (S°), position (P°), ainsi que des interactions G*S°, G*P°, S°*P°, et G*S°*P° sur ces trois types d'erreurs (pour les détails statistiques, voir les tableaux en annexe 9).

Ces analyses statistiques risquent cependant d'être faussées par le fait que les données recueillies (nombre d'erreurs des trois types chez chaque enfant) répondent à une distribution de type Poisson et non pas à une loi normale. En effet, un certain nombre d'enfants n'ont fait aucune erreur, ils sont moins nombreux à en avoir fait quelques-unes et très peu à en avoir fait beaucoup.

- L'analyse de type ANOVA permet de voir les différences éventuelles entre les deux groupes toutes conditions confondues, c'est-à-dire l'effet du facteur groupe (G) sur diverses variables dépendantes (VD) :

On observe un effet hautement significatif du facteur G sur la note à la figure de Rey, $F(1,15)= 20.835$, $P=0.0004$. Les enfants du groupe expérimental ont des performances significativement plus basses que ceux du groupe contrôle, ce qui confirme simplement la bonne constitution des groupes, si on considère la note obtenue à la Figure de Rey comme un bon indicateur de la dyspraxie.

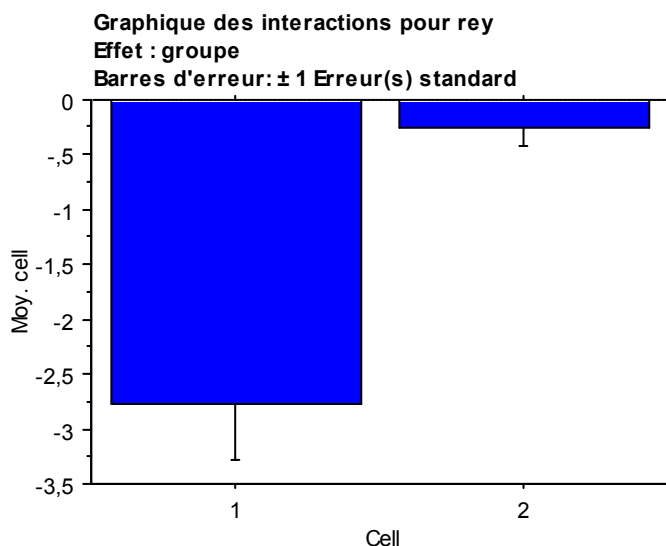


Figure 7 – Note moyenne à la figure de Rey (en terme d'écart-types) en fonction du groupe.

On n'observe aucun effet significatif du facteur G sur le nombre d'erreurs de calcul (C), $F(1,15)=1.828$, $p=0.196$. Cela signifie qu'on ne peut pas montrer de différence entre les deux groupes quant au nombre d'erreurs de calcul, alors qu'il était attendu éventuellement plus d'erreurs de calcul de la part du groupe expérimental (voir partie théorique).

On observe un effet significatif du facteur G sur le nombre d'oublis de la retenue (R), $F(1,15)=5.481$, $p=0.033$. Cela signifie qu'un des deux groupes a fait significativement plus d'erreurs de ce type que l'autre groupe et il s'agit de manière surprenante du groupe contrôle. En effet, les enfants du groupe contrôle ont fait en tout 7 oublis de retenue contre zéro pour le groupe expérimental.

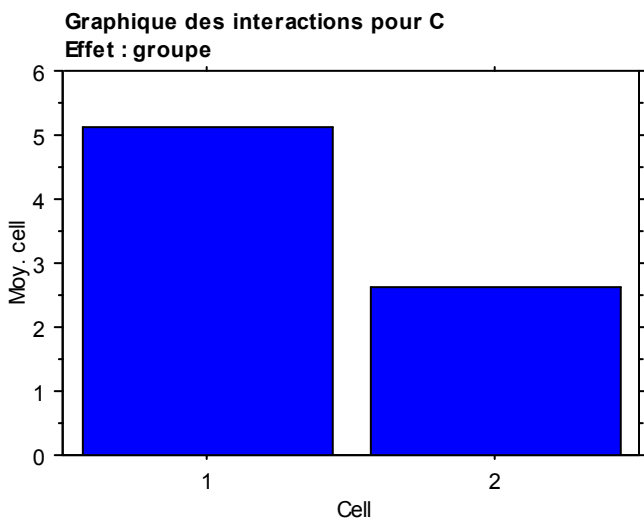


Figure 8 – Nombre moyen d'erreurs de calcul en fonction du groupe.

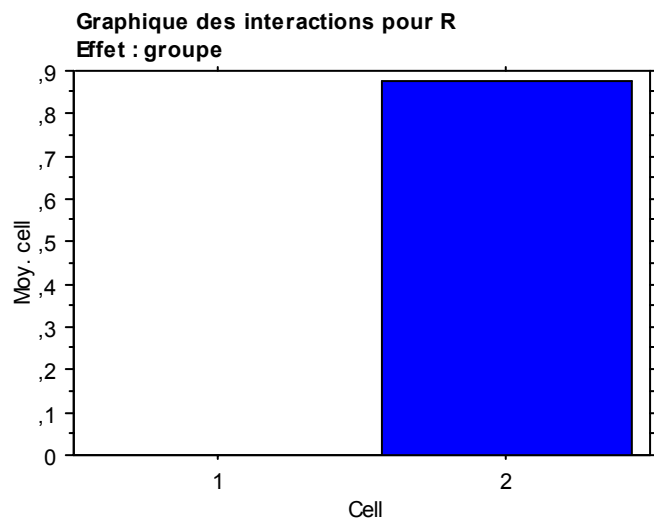


Figure 9 – Nombre moyen d'erreurs d'oublis de la retenue en fonction du groupe.

On observe un effet tendanciel du facteur G sur le nombre d'oublis et surcomptages (OS), $F(1,15)=3.007$, $p=0.103$. Les enfants du groupe expérimental ont fait tendanciellement plus d'erreur OS que ceux du groupe contrôle.

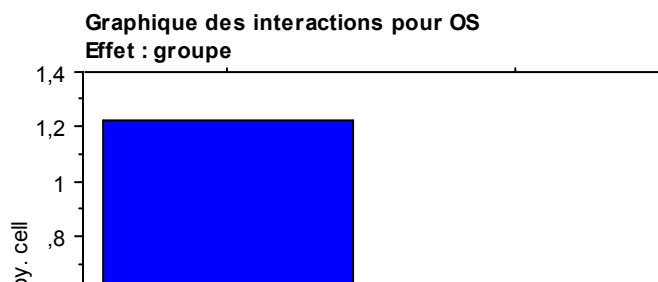


Figure 10 – Nombre moyen d’oublis ou de surcomptages de chiffres en fonction du groupe.

- L’analyse de type régression permet d’observer les différences entre les enfants non plus selon leur appartenance à l’un ou l’autre groupe mais selon leur degré de dyspraxie, opérationnalisé ici par la note à la figure de Rey. Il s’agit donc d’une analyse dimensionnelle et non pas catégorielle comme les analyses précédentes.

Selon cette analyse, on n’observe aucun effet du facteur note à la figure de Rey (noté Rey) sur le nombre total d’opérations justes, $F(1,15)=0.309$, $p=0.586$. Cela signifie que la performance globale des enfants n’est pas expliquée par le degré de dyspraxie.

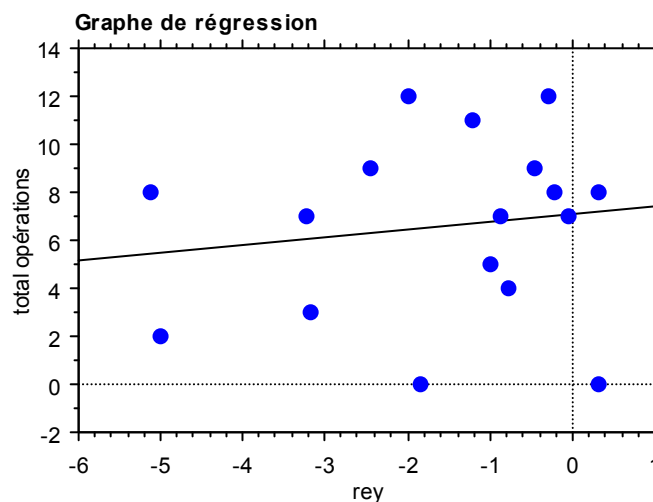


Figure 11 – Nombre d’opérations justes en fonction de la note à la figure de Rey.

On observe par contre un effet significatif du facteur Rey sur le nombre d’erreurs de calcul (C), $F(1,15)=6.585$, $p=0.021$. Cela signifie que le nombre d’erreurs C varie en fonction du degré de dyspraxie : plus l’enfant est atteint du trouble, plus il fait d’erreurs de calcul.

Cependant, cet effet significatif disparaît ($F(1,15)=1.113$, $p=0.309$) si on enlève les valeurs du participant 9. En effet, cet enfant a la plus faible note à la figure de Rey et il a fait 16 erreurs de calcul, ce qui peut être considéré comme une valeur extrême et risque de fausser l'analyse statistique.

Figure 12 – Nombre d'erreurs de calcul en fonction de la note à la figure de Rey (avec le participant 9)

Figure 13 – Nombre d'erreurs de calcul en fonction de la note à la figure de Rey (sans le participant 9)

facteur R

$F(1,15)=5.386$, $p=0.035$. Moins l'enfant est dyspraxique, plus il fait des erreurs d'oublis de la retenue.

Une analyse de type régression polynomiale permet de trouver que le modèle le plus explicatif prend la forme d'une fonction de degré 4.

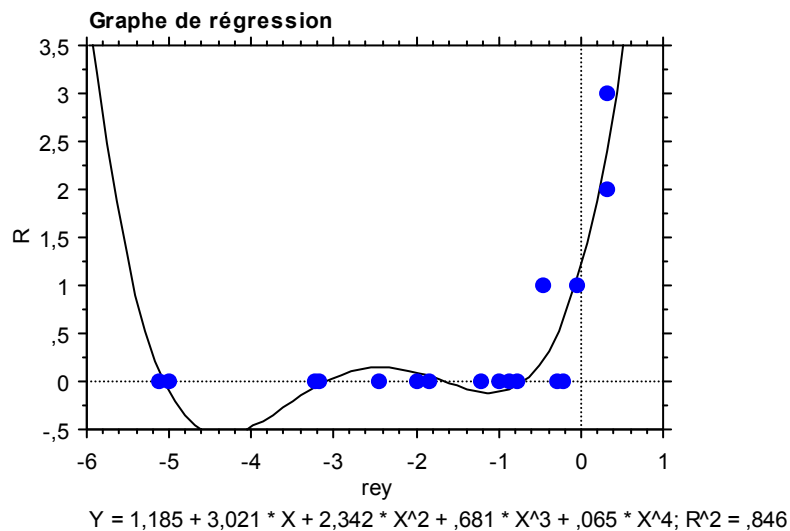


Figure 14 – Nombre d'oublis de la retenue en fonction de la note à la figure de Rey.

On n'observe aucun effet significatif du facteur Rey sur le nombre d'oublis et de surcomptages de chiffres (OS), $F(1,15)=0.706$, $p=0.414$. Le degré de dyspraxie n'expliquerait donc pas le nombre d'oublis et de surcomptages. Cette disparition de l'effet tendanciel observé ci avant s'explique par le fait que le participant 6 a fait 4 erreurs de ce type, or il a la meilleure note du groupe expérimental à la figure de Rey.

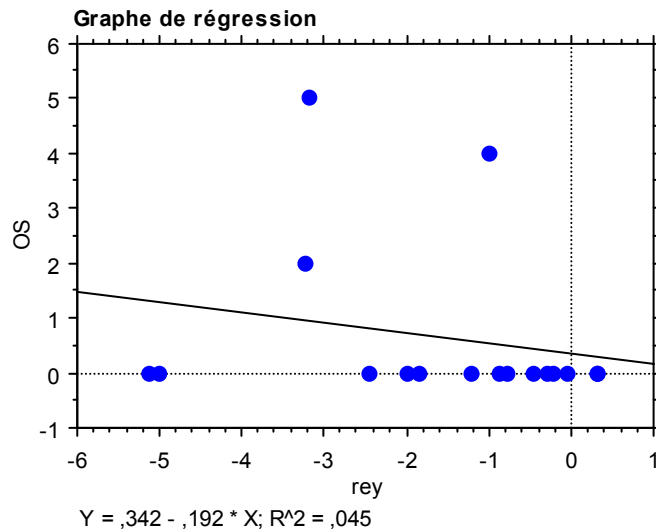


Figure 15 – Nombre d'oublis et de surcomptages de chiffres en fonction de la note à la figure de Rey.

Si on enlève le participant 1 (c'est celui qui est en CM2), cela n'a aucune conséquence sur le degré de significativité des effets des différents facteurs analysés ci-dessus.

1.6.2. Analyse des protocoles individuels

L'analyse des protocoles individuels permet de faire un certain nombre de remarques qui, si elles ne présentent pas un intérêt direct pour cette recherche, méritent d'être faites.

Tous les enfants, à l'exception du participant 9, additionnent d'une manière étonnamment « flexible » les chiffres d'une colonne, en cela qu'ils ne le font jamais dans le même ordre, qui pourrait être celui de la descente par exemple. Ils « prennent » ces chiffres selon l'ordre qui apparaît comme le plus facile ou le plus pratique. Le plus souvent, ils prennent d'abord le chiffre le plus grand et lui additionnent les plus petits. Mais il peut y avoir d'autres stratégies. Quant à la manière de compter elle-même, elle varie beaucoup d'un enfant à l'autre et au sein même d'une addition. Certains « comptent », d'autres font appel aux faits numériques, d'autres encore

manipulent les chiffres en enlevant tant de points à tel chiffre pour les mettre à tel autre chiffre afin d'arriver à des faits numériques qu'ils connaissent.

La méthode de pose de la retenue varie également ; certains posent d'abord la retenue puis l'unité, d'autres font l'inverse. Le participant 16 compte jusqu'à 10, pose la retenue puis compte le reste et le pose en unité. Cela pourrait éventuellement lui jouer des tours lorsque le résultat de la colonne est supérieur à 20, mais peut-être change-t-il de méthode dans ces cas là.

On observe différents types d'erreurs, des erreurs perceptives (l'enfant recopie 8 au lieu de 3), des erreurs de permutation des chiffres du nombre (l'enfant a trouvé 12 et écrit 21), des erreurs dues à une compréhension toute « personnelle » de la consigne (dans la condition « additions à poser et l'expérimentateur écrit pour l'enfant », le premier nombre était déjà posé afin de faciliter la description verbale par l'enfant sur le lieu où poser les deux autres nombres, dans le cas où l'enfant préfère désigner verbalement plutôt qu'avec le doigt. Le participant 8 a bien fait poser les deux autres nombres en dessous du premier, mais il a pensé que ce premier nombre n'était pas à compter dans l'addition, le considérant peut-être comme un modèle indiquant uniquement où poser l'addition.), etc.

Une erreur a été retrouvée à plusieurs reprises et paraît intéressante : plusieurs enfants ont voulu poser les chiffres du plus grand au plus petit et se sont « emmêlé les pinceaux » en faisant cela. Ils ont fait des erreurs de copies dues au fait qu'ils ne copient pas dans le même ordre que l'addition en ligne (par exemple, le participant 1 pose l'addition $873+126+348$ ainsi :

$$\begin{array}{r} 873 \\ +348 \\ \hline +128 \\ = \end{array}$$

le dernier 8 provenant donc du 348 posé en dernier dans le modèle). Ces enfants ont dit avoir appris à faire ainsi. Certains instituteurs semblent donc le conseiller à leurs élèves. Or cela n'est d'aucune utilité dans l'addition en colonne, et représente au contraire une très forte charge cognitive supplémentaire car l'enfant doit faire une tâche de sériation en plus de son addition, tâche difficile s'il en est. Il en résulte de plus un certain nombre d'erreurs de copies présentées ci-dessus. Ce « conseil » des instituteurs pourrait même avoir un impact néfaste sur les exercices de soustraction parce que si l'addition est commutative, la soustraction ne l'est pas et on n'a pas le droit de poser une soustraction à deux nombres dans un ordre différent que celui qui est donné.

Certes les enfants de primaire ne connaissent pas les nombres négatifs, mais au collège 7- 4 est bien différent de 4 -7.

D'autres erreurs sont en relation plus étroite avec le sujet de cette étude parce qu'elles relèvent très probablement d'un trouble de la spatialisation.

Le participant 3 a d'abord posé le résultat de la première colonne de l'opération 8 en bas de la première colonne de l'opération 9, avant de rectifier son erreur. De la même manière, le participant 5 avait posé le résultat de la première colonne d'une opération sous la deuxième colonne de cette opération. Le participant 8 a, lui, fait une erreur encore plus complexe : il a commencé à faire l'addition 7 et a donc calculé le résultat de la première colonne de cette opération, mais il a posé ce résultat sous la première colonne de l'opération 8. Et il a continué de faire l'opération 8 sans s'apercevoir de cette erreur. Ce type d'erreur relève bien d'un trouble de la gestion de l'espace-feuille et elles n'ont été relevées que dans le groupe expérimental.

Plusieurs enfants du groupe expérimental (participants 2, 5, 7 et 9) ont également posé leurs additions trop à gauche, collées contre le bord de la feuille ou contre la ligne séparant les additions (voir les exemples en annexe 10). Certains (participants 7 et 9), insatisfaits de cette pose, ont gommé ou rayé pour reposer les additions à côté, les autres les ont laissées telles qu'elles. On voit ici encore un problème de gestion de l'espace à deux dimensions, avec un fort besoin de repérage concret comme le bord de la feuille ou une ligne. On voit aussi l'effort de contrôle que font ces enfants, effort qui accapare certainement une partie de l'attention de l'enfant.

On relève par ailleurs des oublis ou négligences d'une partie de l'espace. Par exemple, le participant 5 a tout simplement oublié une addition et ne s'en est pas aperçu. Il est fort possible que les oublis et surcomptages d'un chiffre entrent aussi dans cette catégorie d'erreurs. L'enfant ne sait plus repérer dans l'espace quels sont les chiffres qu'il a déjà comptés et ceux qu'il n'a pas encore comptés (voir dans la partie théorique les remarques sur l'activité de dénombrement).

Quelquefois, la pose de l'addition est tellement laborieuse qu'elle entraîne une impossibilité à la résoudre sans erreurs (quelques exemples sont présentés en annexe 10). Il s'agit le plus souvent d'une pose tellement décalée que l'unité du troisième nombre se situe sous la centaine du premier nombre. Les enfants du groupe expérimental ont en effet souvent posé leurs additions non seulement trop à gauche (contre le bord de la feuille ou contre la ligne) mais aussi trop

« penchées » ou décalées (participants 1, 2, 8 et 9). C'est le cas aussi de deux enfants du groupe contrôle (participants 11 et 15) mais dans une moindre mesure. Certains ont su s'y retrouver quand même lors de la résolution de l'addition, d'autres ont été mis en échec par cette pose anarchique. Dans ce sens, poser par avance l'addition représente quand même une aide certaine pour les enfants les plus dyspraxiques, même si cela n'apparaît pas à travers l'analyse statistique.

Enfin le participant 9, qui est l'enfant du groupe expérimental le plus touché par le trouble, a réalisé les trois dernières additions (qui sont celles où il n'y a aucune des deux « aides ») en procédant de gauche à droite (voir son protocole en annexe 6). Plus précisément il a commencé l'opération 10 par la droite puis a posé le résultat de cette colonne de droite sous la colonne la plus à gauche puis il a continué d'aller vers la droite en effectuant l'addition d'une manière assez étonnante. Les deux opérations suivantes ont entièrement été résolues en allant de gauche à droite. Il a de plus, pour les trois opérations, posé le résultat de la dernière colonne (donc celle de droite) « à l'envers », il a trouvé 14, 13 et 14 et il a posé 41, 31 et 41.

L'analyse des protocoles individuels a donc révélé, et ce uniquement chez les enfants du groupe expérimental, un certain nombre d'erreurs qui semblent fortement liées au trouble de la structuration spatiale caractérisant la dyspraxie constructive.

1.7. Discussion

Les deux « aides » que cette expérience proposait aux enfants dyspraxiques sont apparues comme inefficaces. Mais il n'est pas inutile de réfléchir à d'autres pistes.

L'« aide » qui consistait à écrire à la place de l'enfant permettait de corriger uniquement des erreurs d'imprécision dans la pose d'un chiffre. Or les erreurs spatiales qui sont apparues à l'analyse des protocoles individuels ne relèvent pas d'une imprécision dans la pose d'un chiffre mais d'une véritable erreur sur le lieu où le poser (erreurs de l'ordre d'une colonne voire d'une opération). Il serait donc intéressant d'imaginer une aide informatisée, avec, par exemple, un signal qui avertirait l'enfant quand il se trompe sur l'endroit où poser le chiffre. Le logiciel pourrait également lui signaler tout oubli ou surcomptage de chiffre (même si cela est plus dur à

opérationnaliser) puisque, on l'a vu, les enfants du groupe expérimental ont également fait ce type d'erreurs.

Il est apparu que le groupe contrôle a fait significativement plus d'erreurs d'oublis de la retenue que le groupe expérimental. Cela pourrait provenir bien sûr, et c'est l'opinion des institutrices de l'école en question, de l'origine socio-culturelle moins favorisée : les parents auraient une moins grande possibilité d'accompagner leurs enfants dans les apprentissages scolaires (il serait donc utile de refaire cette expérience avec des groupes appariés sur le niveau socio-culturel). Ou encore, cela pourrait provenir d'une moins grande insistance sur l'usage de la retenue de la part de l'institutrice du groupe contrôle que de la part des instituteurs(trices) des autres enfants. Mais on pourrait également faire l'hypothèse que les enfants dyspraxiques y prêtent plus d'attention que les autres, soit parce que leurs parents leur ont fait subir un sur-apprentissage de la procédure pour compenser des faiblesses qu'ils connaissent chez leurs enfants (erreurs spatiales), soit parce que les enfants eux-mêmes font ce raisonnement.

L'analyse statistique n'a pas permis de montrer de différences entre les deux groupes quant à leurs performances globales. Or les enfants du groupe expérimental ont fait un nombre équivalent d'erreurs de calcul (cf. analyse statistique), significativement moins d'erreurs (en fait aucune) d'oubli de la retenue, et plus d'erreurs de type spatiales, comme on l'a vu à travers l'analyse de protocoles. Cela conforte l'hypothèse d'une compensation plus ou moins consciente des faiblesses spatiales par une plus grande vigilance sur la procédure de gestion de la retenue.

Le Dr Mazeau estime que l'on peut également interpréter ce résultat ainsi : les enfants dyspraxiques seraient en difficulté pour intégrer la routine spatiale de la gestion de la retenue. Ils se baseraient alors, pour la manipulation de la retenue, sur la compréhension sémantique de ce que c'est qu'une retenue. Ils feraient alors moins d'oublis du comptage de la retenue parce qu'ils ont bien conscience que la retenue représente une unité de la colonne d'à côté et qu'il faut la compter dans cette colonne là. Ils seraient donc moins sensibles aux erreurs que peut engendrer une routine comme la routine spatiale de la pose de la retenue.

Si on part de l'hypothèse d'une compensation des faiblesses par une plus grande vigilance sur l'emploi de la retenue, on peut également supposer que cette vigilance nécessite une assez grande part d'attention et, selon le principe d'attention limitée, que cela peut engendrer en retour,

par une sorte d'effet pervers, une diminution de l'attention disponible pour les autres aspects de la tâche, les aspects spatiaux et le calcul par exemple. L'expérience 2 devrait permettre de mettre à l'épreuve cette supposition.

2. Expérience 2

2.1. Caractéristiques des participants

Les deux groupes sont constitués des mêmes enfants que pour l'expérience 1. Lors de la passation, ils étaient âgés de 7 à 9,3 ans (âge moyen : 8,4 ans) pour le groupe expérimental et de 7,6 à 9,9 ans (âge moyen : 8,6 ans) pour le groupe contrôle.

2.2. Facteurs expérimentaux

L'hypothèse de travail qui sous-tend cette seconde expérience peut-être exprimée ainsi : les enfants dyspraxiques prêtent une plus grande attention à la gestion de la retenue que les autres enfants. Cet effort particulier accapare une certaine partie de leur attention au détriment de l'attention portée au contrôle des potentielles erreurs de gestion de l'espace et de calcul.

Dès lors, les erreurs de type spatial ou de calcul du groupe expérimental devraient diminuer lorsque l'addition ne nécessite pas de gestion de la retenue et cela ne devrait pas être le cas pour le groupe contrôle.

Pour cette seconde expérience, les enfants doivent donc effectuer des additions sans retenues. La forme des additions (additions de trois nombres à trois chiffres) de l'expérience 1 a été conservée. Les facteurs expérimentaux « position » et « situation » n'ont plus lieu d'être puisque ces deux « aides » ne se sont pas révélées très probantes, seule la condition « en ligne et seul » a été retenue. Le nombre de 9 additions a semblé convenir (c'est suffisant pour l'analyse statistique et pas excessif pour les enfants). La feuille de passation est présentée en annexe 11.

Le plan expérimental est le suivant : S<G2 > .

2.3. Construction du matériel

Aucune des colonnes n'a un résultat supérieur à 9. Le contrôle du matériel n'a pas pu être réalisé aussi strictement que pour l'expérience 1 parce qu'il existe trop peu de combinaisons de 3 chiffres différents qui ont un résultat inférieur ou égal à 9 quand on les additionne. Il arrive donc qu'il y ait deux fois le même chiffre dans une colonne ou deux fois le même chiffre l'un à côté de l'autre dans une même ligne. La difficulté des additions est régulière puisque le résultat de chaque colonne varie seulement entre 6 et 9.

2.4. Passation

La passation s'est déroulée dans les mêmes conditions que pour l'expérience 1. Elle a duré cependant moins longtemps (de l'ordre de 15 minutes) puisqu'il y avait moins d'opérations à faire et elle a pu se faire en une seule fois pour le participant 9.

2.5. Notation des protocoles

La notation des protocoles a été réalisée de la même façon que pour l'expérience 1. Quelques exemples de protocoles sont présentés en annexe 12.

2.6. Résultats

2.6.1. Résultats concernant l'expérience 2

L'ensemble des résultats faisant l'objet d'une analyse statistique (nombre d'opérations justes, nombre d'erreurs de calcul) est présenté en annexe 13. Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 6.9 opérations justes (sur un total de 9 opérations) avec un écart-type de 2.8. Les enfants du groupe contrôle ont fait en moyenne 7.7 opérations justes (écart-type 1.5). Les enfants des deux groupes ont donc, en moyenne, bien réussi ces opérations.

Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 1.5 erreurs de calcul (écart-type 3.2). Mais, ici encore, le participant 89 a fait, à lui seul 10 de ces erreurs, ce qui peut être considéré comme une valeur extrême. Si on écarte cette valeur, les enfants de ce groupe ont fait en moyenne 0.5 erreurs de calcul (écart-type 0.8). Les enfants du groupe contrôle ont fait en moyenne 1.2 erreurs de calcul (écart-type 1.5).

- Analyse statistique :

L'ensemble des tableaux statistiques portant sur les résultats de l'expérience 2 est présenté en annexe 14.

L'analyse statistique par ANOVA ne révèle aucun effet significatif du groupe (G) sur le nombre total d'opérations justes, $F(1,15)=0.586$, $p=0.456$. On ne peut donc pas montrer, ici non plus, de différences entre les deux groupes quant à leurs performances globales.

Elle ne révèle pas non plus d'effet significatif du facteur groupe sur le nombre d'erreurs de calcul (C), $F(1,15)=0.059$, $p=0.811$. De la même manière que dans l'expérience 1, on ne peut pas montrer de différence entre les deux groupes du point de vue des erreurs de calcul.

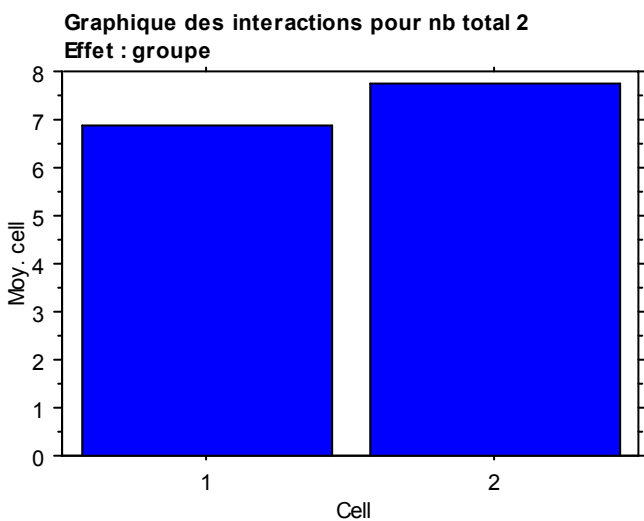


Figure 16 – Nombre moyen d'opérations justes en fonction du groupe.

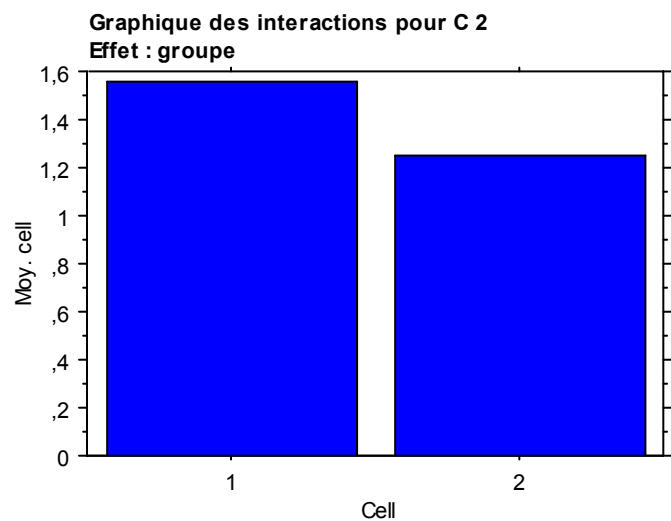


Figure 17 – Nombre moyen d'erreurs de calcul en fonction du groupe.

Il n'y a aucun oubli de la retenue (R) puisque les seules retenues qui sont apparues résultaient d'une erreur de calcul aboutissant à un résultat supérieur à 9 pour une colonne, ce qui est rarement arrivé. Il n'y a pas eu non plus d'oublis ni de surcomptages de chiffres (OS) dans aucun des deux groupes. Ces deux types d'erreurs ne peuvent donc pas faire l'objet d'une analyse statistique comme à l'expérience 1.

L'analyse par régression, par contre, révèle un effet significatif de la note à la figure de Rey sur le nombre total d'opérations justes, $F(1,15)=5.271$, $p=0.036$. Ainsi, plus l'enfant serait dyspraxique, moins il ferait d'opérations justes.

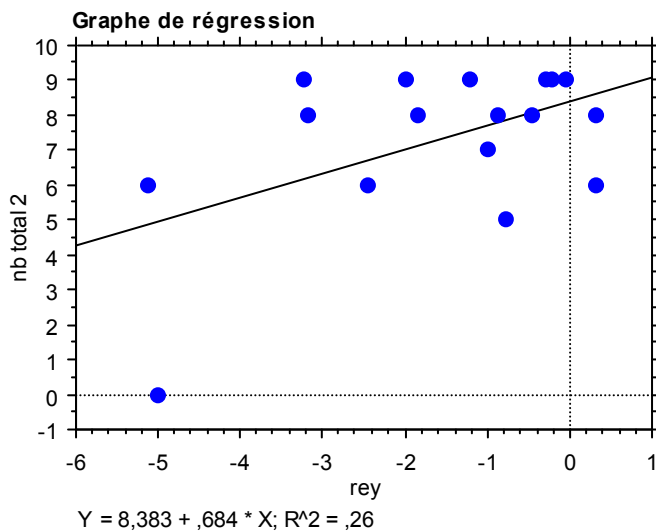


Figure 18 – Nombre d'opérations justes en fonction de la note à la figure de Rey (avec le participant 9).

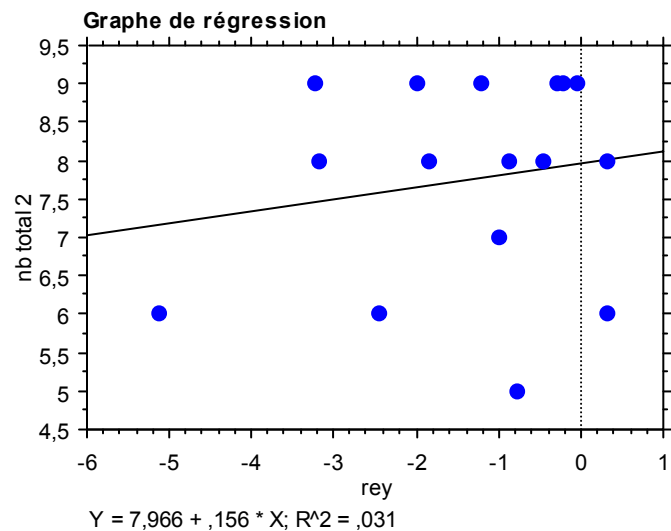


Figure 19 – Nombre d'opérations justes en fonction de la note à la figure de Rey (sans le participant 9).

Mais cette fois encore, l'effet disparaît – $F(1,14)=0.446$, $p=0.515$ – si on enlève les valeurs du participant 9 qui a la plus basse note à la figure de Rey et qui n'a effectué aucune opération correctement. On peut considérer cette valeur comme une valeur extrême qui fausse les analyses statistiques.

Elle ne révèle aucun effet significatif de la note à la figure de Rey sur le nombre d'erreurs de calcul (C), $F(1,15)=1.546$, $p=0.233$.

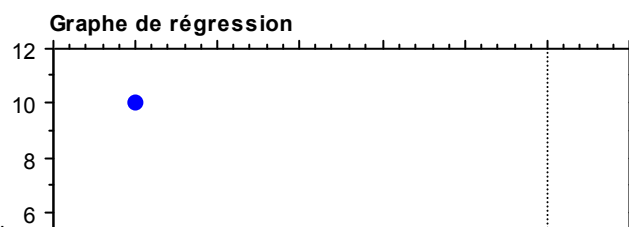


Figure 20 – Nombre d’erreurs de calcul en fonction de la note à la figure de Rey.

- Analyse des protocoles individuels :

L’analyse des protocoles individuels ne révèle aucune erreur sur le lieu où poser un chiffre comme on l’avait observé pour l’expérience 1.

On observe par contre à nouveau chez les enfants du groupe expérimental une forte tendance à poser les additions trop à gauche, contre le bord de la feuille ou une ligne de séparation des additions (participants 2 et 5). On observe également une forte propension à poser les additions de manière très penchée et décalée (participants 1, 2, 5, 8 et 9 et également dans le groupe contrôle, mais de manière beaucoup moins marquée, les participants 12, 15 et 16), mais cette pose distordue n’a engendré aucune erreur (sauf chez le participant 9).

On observe à nouveau des erreurs diverses telles qu’une confusion en mémoire à court terme (l’enfant dit « $3 + 3 = 6$ » et il écrit 3 ou il dit « $2+4=6$, $6+2=6$ »), une erreur de relecture (l’enfant a écrit un 2 qui ressemble tellement à un 1 que lors du calcul il a compté un 1), etc.

On retrouve chez le participant 15 la volonté de poser les nombres du plus grand au plus petit et les confusions en copie que cela engendre.

On retrouve également chez le participant 5 des négligences d’une partie de l’espace puisqu’il oublie de recopier un des trois nombres pour une des additions.

On observe à nouveau des erreurs de copie des nombres chez les enfants du groupe expérimental (participants 2 et 5), qui semblent être dues à des difficultés à se repérer parmi les chiffres, ceux qu’ils ont déjà copiés et ceux qui restent à copier.

Chez le participant 9, on retrouve des erreurs de sens dans la procédure de résolution des additions : il les a toutes réalisées en allant de droite à gauche (voir son protocole en annexe 12). Il a également écrit de nombreux chiffres en miroir. On observe chez lui, pour les deux expériences, une forte déficience de la gestion de l'espace, la pose de l'addition est très laborieuse et il écrit différents chiffres les uns par-dessus les autres. Autant dire que c'est difficile pour lui de s'y retrouver lors du calcul, ce qui explique en partie ses performances médiocres.

2.6.2. Analyse comparative des expériences 1 et 2

Il s'agit ici de comparer l'expérience 2 à la quatrième condition de l'expérience 1 (condition « seul et en ligne »). Lorsqu'il sera parlé, par la suite, de résultats de l'expérience 1, il s'agira en fait uniquement de la condition 4 de cette expérience. Le nombre d'opérations est inégal dans les deux cas puisque la condition 4 de l'expérience 1 comprend 3 opérations et l'expérience 2 en comprend 9. Il en résulte une analyse comparative délicate à effectuer et qui nécessite quelques aménagements.

En ce qui concerne la performance globale (c'est-à-dire le nombre d'opérations justes), elle est meilleure pour les deux groupes à l'expérience 2 qu'à l'expérience 1. Les enfants du groupe expérimental ont fait en moyenne 6.3 opérations justes sur 12 pour l'expérience 1 et 6.9 sur 9 pour l'expérience 2. Les enfants du groupe contrôle en ont fait 6.9 sur 12 pour l'expérience 1 et 7.7 sur 9 pour l'expérience 2.

Pour se faire une idée de l'évolution des performances globales des deux groupes sur les deux expériences, on peut transformer le nombre d'opérations justes en proportion d'opérations justes sur le nombre total d'opérations et faire une analyse de type schéma à mesures répétées. Cependant, cela n'est pas très rigoureux puisque a priori, on ne peut pas faire ce type d'analyse lorsqu'on n'a pas le même nombre de mesures dans chacune des conditions, comme c'est le cas ici. Cette analyse ne révèle au aucun effet significatif du groupe, $F(1,15)=0.515$, $p=0.484$, ce qui signifie qu'on ne peut pas montrer de différences entre les deux groupes quant à leurs performances globales, quelle que soit l'expérience. On observe par contre un effet très significatif du facteur expérience, $F(1,15)=10.009$, $p=0.006$, ce qui signifie que si on prend les deux groupes confondus, les performances globales sont différentes selon l'expérience (elles sont meilleures pour l'expérience 2, comme il a été précisé plus haut). Enfin, on n'observe aucun effet

significatif de l'interaction des facteurs groupe et expérience, $F(1,15)=0.001$, $p=0.973$. On ne peut donc pas montrer de différence « d'évolution entre les deux expériences » des performances globales des deux groupes.

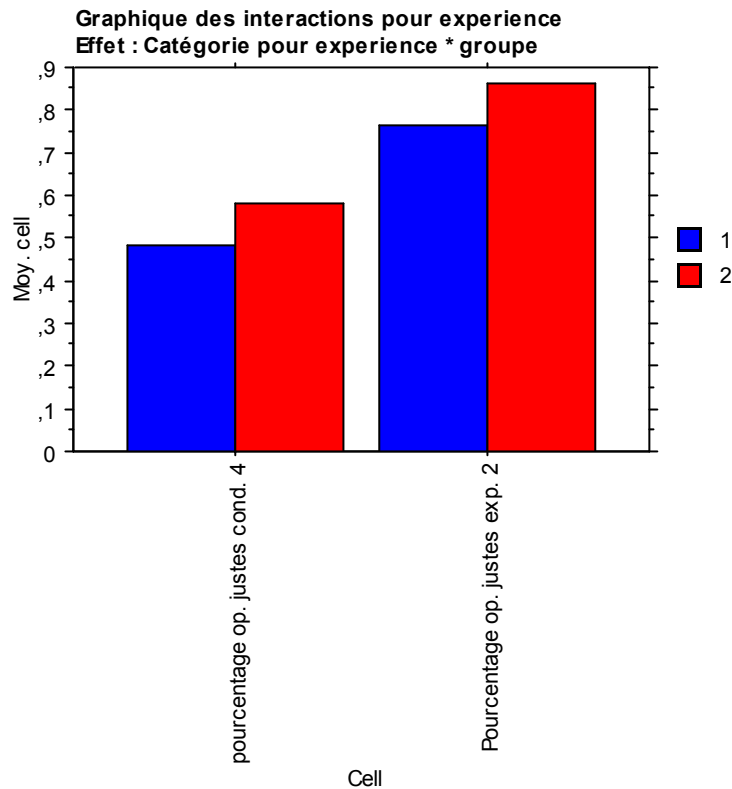


Figure 21 – Pourcentage d'opérations justes en fonction du groupe et de l'expérience.

En ce qui concerne les erreurs de calcul, on ne peut pas transformer les données brutes en proportions puisqu'il n'y a pas un nombre limité d'erreurs de calcul. On ne peut donc pas faire d'analyse statistique comparative comme précédemment. Cependant, on peut se faire une idée de l'évolution du nombre d'erreurs de calcul pour les deux groupes entre les deux expériences en comparant les données brutes. Les enfants du groupe expérimental ont fait en tout 14 erreurs de calcul (sur trois opérations) à l'expérience 1 et 14 à l'expérience 2 (sur 9 opérations). Les enfants du groupe contrôle en ont fait respectivement 4 et 10. On peut multiplier le nombre d'erreurs de l'expérience 1 par 3 afin de mieux comparer avec l'expérience 2, tout en gardant à l'esprit qu'il ne s'agit que d'un moyen de se faire une idée « à vue de nez » de cette évolution (en effet, cette transformation n'est pas valable scientifiquement car si un enfant fait un nombre n d'erreurs sur trois opérations, cela ne signifie pas qu'il ferait forcément $3n$ erreurs sur 9 opérations). Cela

donne, pour le groupe expérimental, 42 erreurs de calcul pour l'expérience 1 et 14 pour l'expérience 2 ; pour le groupe contrôle respectivement 12 et 10. On observe alors une baisse de 66.7% des erreurs de calcul pour le groupe expérimental entre l'expérience 1 et l'expérience 2, contre une baisse de seulement 16.7% pour le groupe contrôle. On voit donc, même si ces données n'ont aucune valeur statistique, que l'évolution du nombre d'erreurs de calcul entre l'expérience 1 et l'expérience 2 (c'est-à-dire entre des opérations avec et sans retenue) n'est pas du tout la même pour les deux groupes, puisqu'on observe une plus forte baisse de ces erreurs pour le groupe expérimental que pour le groupe contrôle.

Cela peut paraître bizarre qu'il n'y ait aucune différence significative entre les deux groupes quant au nombre d'erreurs de calcul, ni à l'expérience 1 ni à l'expérience 2, et que pourtant on observe une évolution de ces erreurs entre les deux expériences différente selon le groupe. Cela provient du fait que l'absence de différence significative entre les deux groupes pour l'expérience 1 tient compte des 4 conditions de cette expérience alors que l'observation de l'évolution ne porte que sur la condition 4. Or les erreurs de calcul du groupe contrôle pour l'expérience 1 sont inégalement réparties entre les 4 conditions et se situent peu sur les opérations de la condition 4 (4 erreurs) mais beaucoup sur celles de la condition 1 (11 erreurs).

2.7. Discussion

Les erreurs de type spatial du groupe expérimental semblent bien avoir diminué. En effet, même si on retrouve des erreurs de copie des nombres (participant 2), de pose trop décalée (participant 9) et d'oubli d'une partie des nombres à additionner (participant 5), on n'a retrouvé aucun oubli ou surcomptage, ni aucune erreur sur le lieu où poser les chiffres.

Il en va de même pour les erreurs de calcul : elles semblent bien avoir diminué pour le groupe expérimental et cela dans de plus grandes proportions que pour le groupe contrôle.

Ces résultats tendraient à confirmer l'hypothèse de départ selon laquelle lorsqu'il n'y a pas de retenue à gérer, les enfants dyspraxiques peuvent prêter une plus grande attention à l'aspect spatial de l'addition et au calcul.

Les additions de cette seconde expérience sont cependant forcément plus faciles que celles de l'expérience 1, parce qu'il n'y a pas de retenue à gérer, certes, mais aussi parce que dans

chaque colonne les chiffres à additionner et le résultat sont plus « petits » (on a moins de risque de se tromper en calculant $3+4+2$ qu'en calculant $6+8+5$). Il est donc difficile de déterminer si cette diminution des erreurs spatiales peut effectivement être attribuée à l'absence de retenue ou au fait que les additions sont plus faciles. Il faudrait imaginer une expérimentation permettant de tester à nouveau cette hypothèse avec des additions présentant exactement le même degré de difficulté que celles de l'expérience 1 mais sans qu'il y ait de retenue à gérer.

Les additions sont également trop faciles dans l'absolu (et non plus en comparaison avec celles de l'expérience 1) et elles risquent de faire apparaître un « effet plafond » tel que les enfants quels qu'ils soient les réussissent bien. On ne voit alors plus apparaître les éventuelles différences entre les deux groupes ni les éventuelles erreurs qui apparaîtraient avec des additions plus difficiles.

Il aurait par ailleurs été intéressant de reproduire plus exactement l'expérience 1, c'est-à-dire d'introduire dans l'expérience 2 les conditions « situation » et « position » de l'expérience 1. Cela aurait permis une comparaison plus rigoureuse des conditions avec et sans retenue.

Enfin, on peut s'interroger sur la pertinence de l'hypothèse sous-tendant cette expérience 2 : si on considère, comme on l'a fait, que cette attention particulière portée à l'usage de la retenue pourrait constituer pour les enfants dyspraxiques un outil de compensation de leurs faiblesses spatiales, cela a-t-il vraiment un sens de soupçonner cet outil d'un effet pervers tels qu'il engendre d'autres erreurs, celles-là mêmes qu'il est sensé compenser (les erreurs spatiales) ?

BIBLIOGRAPHIE

- * Albaret, J.-M. (1993). Les troubles psychomoteurs chez l'enfant. *Encycl. Méd.-chir., Pédiatrie*, 4-101-H-30, Psychiatrie, 37-201-F-10, Paris : Editions techniques, 10 p.
- * Albaret, J.-M., Carayre, S., Soppelsa, R., & Michelon, Y. (1995). Hétérogénéité des dyspraxies de développement : tentative de classification. *A.N.A.E.*, 32, 61-67.
- * Ayres, A.J. (1972). *Sensory integration and learning disorders*, Los Angeles, Western Psychological Services.

- * Cermarck, S.A. (1985). Developmental dyspraxia. In E.A. Roy (Ed.), *Neuropsychological Studies of Apraxia and Related Disorders* (p. 225-245), North Holland, Elsevier Science Publishers.
- * Dehaene, S. (1997). *La bosse des maths*. Paris : Odile Jacob.
- * Dewey, D. (1995). What is Developmental Dyspraxia? *Brain and Cognition*, 29, 254-274.
- * Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre*. Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- * Flessas, J., & Lussier, F. (2001). *Neuropsychologie de l'enfant. Troubles développementaux et de l'apprentissage*. Paris: Dunod.
- * Gil, R. (2000). *Neuropsychologie*. Paris : Masson.
- * Mazeau, M. (1995). *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces*. Paris : Masson.
- * Meljac, C., & Van Hout, A. (2001). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. Paris : Masson.
- * Mellier, D. (2000). Le développement gestuel du jeune enfant : de la manipulation à la praxie. *A.N.A.E.*, 59-60, 147-148.
- * Pesenti, M., & Seron, X. (2000). *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- * Picard, A. (2000). Dyspraxies de développement chez les enfants nés prématurés, diagnostique, remédiation. *A.N.A.E.*, 59-60, 158-164.
- * Sander, E. (1997). *Analogie et catégorisation*. Thèse de Doctorat. Université Paris 8.
- * Springer, S. P., & Deutsch, G. (2000). *Cerveau gauche, cerveau droit*. Paris : De Boeck Université.