

UNIVERSITÉ LIBANAISE
Faculté de Santé Publique
Section II

MÉMOIRE

présenté
pour l'obtention du Master en

ORTHOPHONIE
Option : Neurosciences Cognitives

par

HAJAR Ghazal

**Evaluation du raisonnement spatial en lien avec la géométrie chez
l'enfant dyscalculique**

**Ma fidèle amie dans les moments les plus délicats de
cette vie mystérieuse, malgré les distances, l'image de
ton beau sourire tranquille ne m'a jamais quitté. Je te
dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de
santé et de réussite.**

Remerciements

Merci,

A Dr. Sabah SEMRANI SHAROUK, responsable du Master, pour l'ouverture et la poursuite de
ce cursus.

A Pr. Nacira ZELLAL, Directrice de l'Offre de ce Master inscrit dans la coopération Libano-
Algérienne, pour votre disponibilité et vos encouragements continus.

Aux responsables d'écoles et de colonies et aux familles d'enfants, pour votre aimable collaboration dans la partie pratique.

Résumé

Notre étude a pour objectif d'évaluer et de caractériser le raisonnement spatial en lien avec la géométrie chez l'enfant dyscalculique.

Suite à une base théorique approfondie, nous avons choisi les épreuves spatiales, qui ont été validées auprès d'un échantillon de soixante enfants et utilisées avec des épreuves de raisonnement logico-mathématique pour tester notre échantillon. Celui-ci est composé d'enfants, âgés entre 7 ans et demi et 8 ans et demi en fin de classe EB3 et présentant une dyscalculie sans troubles associés.

Suite à l'analyse des résultats obtenus, nous avons pu préciser un dysfonctionnement spécifique de la pensée spatiale dans plusieurs aspects.

MOTS CLÉS

Dyscalculie

Mathématiques

Raisonnement logique

Pensée spatiale

Evaluation

Table des matières

Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Introduction.....	1
Partie Théorique	
Chapitre 1. Le raisonnement logico-mathématique.....	4
1.1. Définition du raisonnement logico-mathématique.....	4
1.2. Les stades du développement de la pensée selon Piaget.....	5
1.2.1. Le stade sensori-moteur (de 0 à 2 ans).....	5
1.2.2. Le stade des opérations concrètes (de 2 ; 3 ans à 11 ; 12 ans).....	6
1.2.3. Le stade des opérations formelles.....	11
Chapitre 2. La dyscalculie.....	13
2.1. Définitions.....	13
2.2. Prévalence et causes.....	15
2.3. Symptomatologie de la dyscalculie.....	16
2.4. Mécanismes sous-jacents de la dyscalculie.....	19
Chapitre 3. Le raisonnement spatial.....	22
3.1. Définition et caractéristiques du raisonnement spatial.....	22
3.2. Développement et types de raisonnement spatial.....	23
3.3. Lien entre le raisonnement spatial et les mathématiques / la géométrie.....	27
3.4. Difficultés du raisonnement spatial chez l'enfant dyscalculique.....	29
Partie Pratique	
Chapitre 4. Généralités.....	31
4.1. Problématique.....	31
4.2. Objectif du travail.....	32

4.3. Démarche du travail	32
4.4. Choix de la population	32
Chapitre 5. Le bilan	35
5.1. Mode de passation	35
5.2. Epreuves du domaine logicomathématique	35
5.2.1. L'épreuve de classification (le tri dichotomique)	36
5.2.2. L'épreuve de sériation (dessin des ronds)	37
5.2.3. L'épreuve de conservation de la longueur	38
5.2.4. L'épreuve du concept des opérations	40
5.2.5. L'épreuve de numération	41
5.3. Epreuve du domaine du raisonnement spatial	42
5.3.1. L'épreuve de l'espace topologique	42
5.3.2. L'épreuve de l'espace euclidien	43
5.3.3. L'épreuve du dessin géométrique et l'expression	44
5.3.4. L'épreuve de décentration	45
5.3.5. L'épreuve de reproduction de formes	46
5.4. Cotation des résultats	47
5.4.1. Les épreuves logico-mathématiques	47
5.4.2. Les épreuves du domaine du raisonnement spatial	49
Chapitre 6. L'analyse des résultats	52
6.1. Résultats des épreuves logico-mathématiques	52
6.1.1. Résultats de l'épreuve de Classification	53
6.1.2. Résultats de l'épreuve de Sériation	56
6.1.3. Résultats de l'épreuve du Conservation	58
6.1.4. Résultats de l'épreuve du Concept des opérations	60
6.1.5. Résultats de l'épreuve de numération	62
6.2. Résultats des épreuves du domaine du raisonnement spatial	64
6.2.1. Résultats de l'épreuve de l'espace topologique	64
6.2.2. Résultats de l'épreuve de l'espace euclidien	67
6.2.3. Résultats de l'épreuve du dessin géométrique et expression	68

6.2.4. Résultats de l'épreuve de décentration	71
6.2.5. Résultats de l'épreuve de reproduction de formes	73
6.3. Synthèse des résultats	73
Chapitre 7. Discussion	74
7.1. Liens entre la pratique et la théorie	74
7.2. Apports de notre travail	76
7.3. Limites et perspective	77
Conclusion	78
Références Bibliographiques	80
Glossaire	84

Liste des tableaux

Tableau 6.1 : Les résultats de Dys aux épreuves logico-mathématiques.....	53
Tableau 6.2 : Les résultats du groupe contrôle aux épreuves logico-mathématiques.....	53
Tableau 6.3 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Classification.....	56
Tableau 6.4 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Sériation.....	58
Tableau 6.5 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Conservation	60
Tableau 6.6 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve du Concept des Operations ...	62
Tableau 6.7 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de numération	64
Tableau 6.8 : Les résultats de l'échantillon Dys dans les épreuves du domaine de l'espace	65
Tableau 6.9 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de l'espace topologique	67
Tableau 6.10 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de l'espace euclidien	68
Tableau 6.11 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve du dessin géométrique et expression	71
Tableau 6.12 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de décentration	72

Liste des figures

Figure 5.1 : Epreuve de sériation	37
Figure 5.2 : Epreuve de l'espace topologique (a)	42
Figure 5.3 : Epreuve de l'espace topologique (b)	42
Figure 5.4 : Epreuve de l'espace euclidien	43
Figure 5.5 : Epreuve du dessin géométrique et l'expression	44
Figure 5.6 : Numérotation des lignes de l'épreuve de l'espace euclidien	46

Liste des graphes

Graphe 6.1 : Les résultats de l'épreuve de classification de Dys	53
Graphe 6.2 : Les résultats de l'épreuve de classification du groupe contrôle	54
Graphe 6.3 : Les résultats de l'épreuve de sériation de Dys	56
Graphe 6.4 : Les résultats de l'épreuve de sériation du groupe contrôle	57
Graphe 6.5 : Les résultats de l'épreuve de conservation de Dys	58
Graphe 6.6 : Les résultats de l'épreuve de conservation du groupe contrôle	59
Graphe 6.7 : Les résultats de l'épreuve du concept des opérations de Dys	60
Graphe 6.8 : Les résultats de l'épreuve du concept des opérations du groupe contrôle	61
Graphe 6.9 : Les résultats de l'épreuve de numération de Dys	62
Graphe 6.10 : Les résultats de l'épreuve de numération du groupe contrôle	63
Graphe 6.11 : Les moyennes de l'épreuve de l'espace topologique du groupe contrôle et du groupe Dys	65
Graphe 6.12 : Les moyennes de l'épreuve de l'espace euclidien du groupe contrôle et de Dys	67
Graphe 6.13 : Les moyennes de l'épreuve du dessin géométrique et expression du groupe contrôle et du groupe Dys	69
Graphe 6.14 : Les moyennes de l'épreuve décentration du groupe contrôle et du groupe Dys	71
Graphe 6.15 : Les moyennes de l'épreuve de reproduction de formes du groupe contrôle et du groupe Dy	73

Liste des abréviations

Al	Autres
c.à.d.	c'est-à-dire
Cf.	Confer
EB3	Education de Base troisième année
DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
etc.	Etcetera
Max	Maximum
Min	Minimum
p.	Page
p.p.	Pages

LISTE DES SYMBOLES

+	Somme
-	Soustraction
=	Egale
>	Plus grand
<	Plus petit

INTRODUCTION

Dans notre travail avec les enfants dyscalculiques, nous notons des difficultés au niveau des notions géométriques. Celles-ci ne sont pas toujours ciblées en début d'apprentissage des mathématiques vu le déficit plus important dans les notions numériques mais seront travaillées dans les projets de rééducation orthophonique après quelque temps en thérapie. Or ces notions sont intimement liées au raisonnement dans l'espace. Devant ce fait, nous avons eu un intérêt à nous poser des questions quant à la spécificité de ce raisonnement chez l'enfant dyscalculique.

Au niveau théorique, plusieurs auteurs confirment le rôle important de la pensée spatiale dans l'acquisition des mathématiques et notamment de la géométrie. De même, les études récentes en neuropsychologie démontrent l'intervention de l'espace dans l'application des notions mathématiques. Sur le terrain pratique, quelques orthophonistes et psychologues se sont intéressés au travail des notions spatiales comme prérequis à la géométrie chez les enfants présentant des troubles au niveau logico-mathématique que ce soit dans le cadre de la pathologie ou de difficultés d'apprentissage. A notre connaissance, il n'y a pas eu d'études évaluant le raisonnement spatial lié à la géométrie notamment chez l'enfant dyscalculique. Ceci constitue une problématique dans la pratique orthophonique qui empêche le traitement de ce domaine. D'où le choix de notre sujet pour essayer de répondre aux questions suivantes :

- En quoi le raisonnement spatial qui est fondamental à l'apprentissage de la géométrie est-il touché en cas de la dyscalculie? Quelles sont les spécificités de ce raisonnement ?

L'objectif essentiel de ce mémoire est de faire une évaluation quantitative et qualitative de la pensée spatiale qui intervient dans le domaine de la géométrie auprès des enfants dyscalculiques. Dans ce but, nous avons investigué des enfants présentant une dyscalculie sans troubles associés en testant leurs capacités spatiales. Cette évaluation est d'une grande importance dans la pratique orthophonique clinique quant à la prise en charge précoce des habiletés spatiales nécessaires à la construction des

notions géométriques dans le cadre de la dyscalculie en nous servant d'outils de dépistage des difficultés dans ce domaine.

Vu que notre étude concerne le raisonnement d'une part logique dans la pathologie de la dyscalculie et d'autre part spatial en lien avec la géométrie, nous amorcerons la partie théorique par un aperçu sur la définition et le développement du raisonnement cognitif chez les enfants qui ne présentent aucun problème scolaire (chapitre 1).

Par la suite, nous allons traiter la dyscalculie d'après différents auteurs et étudier les déficits au niveau mathématique et logique chez les sujets dyscalculiques tout en essayant de situer leur raisonnement par rapport à la norme (chapitre 2).

Dans le chapitre 3 nous aborderons le raisonnement spatial selon différents aspects afin de préciser son importance dans l'apprentissage des mathématiques et surtout géométrique en dégageant de même quelques particularités dans le cadre de la dyscalculie.

Pour la partie pratique, nous présenterons les questions auxquelles notre étude vise à répondre. Nous justifierons également la démarche adoptée : la problématique, les objectifs et la démarche du travail ainsi que le choix de la population (chapitre 4).

Dans le chapitre suivant (chapitre 5) nous allons détailler les épreuves administrées dans le bilan. Ensuite, nous allons analyser les résultats obtenus d'une manière quantitative et qualitative tout en concluant avec une synthèse expliquant les spécificités de la pensée spatiale du domaine de la géométrie de l'enfant dyscalculique (chapitre 6).

Ceci va nous permettre de déterminer les liens entre la partie théorique et la partie pratique en présentant aussi les apports ainsi que les limites et les perspectives de notre étude (chapitre 7).

Enfin, nous tenterons dans cette étude d'aider les orthophonistes à mieux évaluer et comprendre le raisonnement spatial nécessaire en géométrie dans le traitement de la dyscalculie. Cette évaluation mènera à préciser les projets thérapeutiques en intégrant précocement des objectifs spatiaux afin de préparer une bonne construction du terrain géométrique.

Chapitre 1

LE RAISONNEMENT LOGICO-MATHEMATIQUE

Dans ce chapitre, nous allons étudier les différentes caractéristiques du développement du raisonnement logique chez un enfant n'ayant pas de difficultés scolaires avant de présenter ses spécificités dans le cadre pathologique qui est, dans notre étude, celui de la dyscalculie.

Nous exposerons la théorie Piagétienne pour expliquer le développement du raisonnement logique puisque Piaget est le fondateur de l'étude de la genèse de l'intelligence. Il est important de noter que de nombreuses études récentes et importantes ont critiqué cette théorie (comme Mehler et Dupoux à partir des années 1990). Mais, malgré ce que nous apportent ces critiques, aucun nouveau modèle n'a été aussi puissamment fondé que celui de Piaget concernant la genèse de l'intelligence. Nous nous appuyons aussi dans l'explication de cette théorie sur les travaux tirés de Campolini et Van Hovell (2002), Bertrand (2002) et Dolle (1974).

Nous allons aborder ce chapitre par une définition du raisonnement logique, puis nous entamerons les trois stades du développement de la pensée logico-mathématique tout en expliquant le lien avec la construction du nombre. Signalons que notre intérêt se porte au niveau du stade des opérations concrètes puisque notre étude comporte des enfants appartenant à une tranche d'âge correspondante à ce stade (7 ans et demi- 8 ans et demi). Enfin, nous allons clore par une mise en relation entre le raisonnement logique et son impact sur l'apprentissage des mathématiques.

1.1 Définition du raisonnement logico-mathématique

Selon Piaget (1951), afin de comprendre l'intelligence, il faut qu'on retrace son développement. Pour lui, elle ne peut se définir que par sa direction ou son processus, un processus d'organisation contenant l'ensemble des fonctions cognitives et qui tend à réaliser un certain équilibre. Elle est un système d'opérations qui sont par définition

réversibles. Donc c'est à travers la réversibilité de la pensée qu'on peut aussi définir l'intelligence.

De plus, Claparède (cité par Piaget 1951) voit que l'intelligence c'est « la capacité de résoudre par la pensée des problèmes nouveaux ». Il a cherché à expliquer les conduites de l'enfant en les regroupant en trois : l'instinct, l'habitude et l'intelligence qui, pour lui, est une adaptation à des situations nouvelles et exigeantes et par conséquent un certain tâtonnement.

Selon B. Troadec (1998), le développement cognitif se définit par les structurations successives d'actions et par la suite d'opérations. Cette structuration se construit lorsque le sujet s'adapte à son environnement donc à partir de l'interaction entre le sujet et l'objet.

1.2 Les stades du développement de la pensée selon Piaget

Piaget a décomposé le développement de la pensée logique en trois stades principaux : le stade sensori-moteur, le stade des opérations concrètes et le stade des opérations formelles.

1.2.1 Le stade sensori-moteur (de 0 à 2 ans)

Le stade sensori-moteur est le stade de l'intelligence pratique, celui qui vient avant l'apparition du langage. Cette intelligence pratique est fortement liée à l'action et à la perception : l'enfant n'a pas encore des représentations symboliques construites à partir des personnes et des objets avec lesquels il est en pleine interaction.

Le développement de ce stade se fait dans le sens de la décentration progressive. L'enfant, étant centré sur lui-même au tout début, finit par se situer comme un objet séparé des autres dans un univers formé d'autres objets permanents. Ceci se fait également à partir d'une structuration dans l'espace et dans le temps ainsi que d'une causalité objectivée. Autrement dit, l'enfant passe de l'étape des réflexes

héréditaires qui se transforment en habitudes. Puis il commence à structurer lui-même en structurant l'objet pour passer en fin de ce stade à la représentation.

1.2.2 Le stade des opérations concrètes (de 2 ; 3 ans à 11 ; 12 ans)

Ce stade est divisé en deux périodes : la période préopératoire (2-3 ans à 6-7 ans) et la période opératoire (7-8 ans à 11-12 ans).

1. La période préopératoire

Cette période se caractérise par le développement de la fonction symbolique qui se manifeste par : le langage, le jeu symbolique, le dessin, l'image mentale, l'imitation différée.

Deux phases constituent cette période: la phase de la pensée pré-conceptuelle, et celle de la pensée intuitive.

A. La pensée pré-conceptuelle

Nous notons une centration sur les expériences subjectives et sur le point de vue propre de l'enfant. L'enfant montre une confusion entre les aspects subjectifs et les aspects objectifs de la réalité. Ainsi, il se représente le monde entre le général et le particulier : le préconcept est soit trop général (tous les animaux sont des vaches) soit trop particulier (seule la vache des voisins est une vache). De plus, il justifie les faits sans vérification et toujours en se basant sur son point de vue. Il ne montre pas aussi une sensibilité aux contradictions.

B. La pensée intuitive

Nous expliquons la pensée intuitive par des centrations successives sur des états perceptifs sans prendre en compte les transformations et les liens entre elles. L'enfant, ne disposant pas encore d'opérations réversibles, demeure incapable d'envisager simultanément les états successivement centrés. Nous parlons aussi de pensée figurative qui domine le raisonnement de l'enfant ne donnant pas à l'enfant la

possibilité de percevoir les relations entre les éléments. Par la suite, il ne pourra pas revenir en arrière dans sa pensée pour annuler une action. La fin de cette phase se caractérise par la capacité de l'enfant de passer par l'acte afin de vérifier son raisonnement. C'est la réversibilité.

"Nous appellerons réversibilité la capacité d'exécuter une même action dans les deux sens de parcours mais en ayant conscience qu'il s'agit de la même action" (Études d'épistémologie génétique, volume 2, p. 44).

Il est important de souligner que l'égoцентризм marque la pensée préopératoire. En effet, c'est la centration de la pensée sur le point de vue propre du sujet. L'interprétation des faits par de l'enfant se fait alors d'une façon subjective en leur attribuant des qualités qui viennent de lui-même et de sa perspective. Progressivement, l'enfant accède à une décentration qui se traduit par une acceptation du point de vue de l'autre mais ceci sans que son propre point de vue soit affecté.

2. La période opératoire

Durant cette période, la pensée de l'enfant devient opératoire. En effet, elle acquiert une mobilité : l'enfant devient capable de classer, sérier, dénombrer, additionner... Sa pensée devient également réversible : il peut annuler une transformation perçue dans le monde physique et ceci par une action mentale orientée en sens inverse ou réciproque. Donc cette capacité qui permet à l'enfant de découvrir l'inversion possible des transformations à travers la représentation est appelée « la réversibilité ».

Autrement dit, les objets et leurs propriétés sont perçus selon une relation sujet objet concret direct mais ceci sans la possibilité de raisonner sur de simples hypothèses. Ceci est caractéristique des opérations formelles.

Nous détaillerons ci-dessous les structures logico-mathématiques les plus importantes de ce stade qui sont en relation avec la genèse du nombre : la conservation, la classification et la sériation.

A. Les structures logico-mathématiques

a. La conservation opératoire

La notion de conservation est le meilleur indice de l'apparition du stade opératoire. Dans le cas de transformation d'un état A en un état B, un enfant ayant un raisonnement opératoire peut dégager la propriété qui reste invariante (conservation) et mentaliser le retour possible de B en A, retour qui annule la transformation (réversibilité). Pour Piaget, la réversibilité représente l'aptitude à agir mentalement dans les deux sens tout en étant conscient qu'il s'agit de la même action. Donnons un exemple concret. Nous présentons à l'enfant deux boules identiques de pâte à modeler à l'état initial, puis nous transformons l'une d'elle en serpent. Nous lui demandons alors s'il y a autant de pâte dans les deux boules. Si l'enfant juge qu'il y a la même quantité puisqu'on n'a changé effectivement que la forme de la pâte, ceci montre qu'il a annulé la transformation mentalement par réversibilité. Donc nous pouvons dire qu'il est au stade de la conservation opératoire.

L'évolution de la conservation opératoire se fait selon trois stades successifs:

- Non conservation : L'enfant ne fait pas une coordination des qualités perceptives de l'objet. Il se base sur sa pensée figurative dans son évaluation. Par exemple, si on verse un même liquide d'un récipient large à un autre plus étroit, l'enfant va considérer que "la quantité d'eau à boire" a augmenté.

- Intermédiaire : les apparences physiques vont troubler l'enfant. Il va être influencé par les modifications mais lorsque celles-ci sont importantes. Par exemple, si le changement d'une boule en boudin n'a pas beaucoup modifié son apparence, il va juger que ça reste la même quantité. Par contre, si on transforme la boule en plusieurs miettes, l'enfant jugera alors que la quantité a augmenté à l'état de miettes car les changements de forme sont plus importants.

D'autre part, il commence à s'intéresser aux transformations. Il va essayer d'annuler la transformation par une nouvelle action concrète mais pas en l'inversant (réversibilité). Par exemple, l'enfant remettra à son état initial la pâte à modeler et jugera alors que la quantité est conservée. Il y a un début de coordination mais qui reste incomplète car l'enfant ne prend pas en compte toutes les relations présentes.

- Opérateur : la réversibilité de la pensée est construite. L'enfant parvient à se présenter mentalement dans les 2 sens une transformation et à juger que la quantité se conserve en donnant des justifications appropriées.

Il existe plusieurs types de conservations qui s'acquièrent progressivement à partir du stade des opérations concrètes comme la conservation des quantités, des longueurs, des surfaces, de la substance, du poids, des volumes et la conservation numérique.

b. La classification opératoire

La classification représente la capacité de ranger des objets en un ensemble commun, en faisant abstraction de leurs différences ne s'intéressant qu'à leurs qualités communes. Nous notons deux caractères nécessaires à la constitution de la notion de classification : celui de la compréhension et celui de l'extension.

L'extension est définie comme l'ensemble des éléments qui constituent une même catégorie. La compréhension représente l'ensemble des critères communs aux éléments appartenant à cette catégorie. Lorsque l'enfant montre une coordination entre la compréhension et l'extension en faisant abstraction d'un seul critère, la classe réalisée est alors une classe logique. Par exemple, pour classer des ours multicolores selon leur taille, l'enfant doit dégager le critère de taille et abstraire le critère de couleur.

La classification opératoire est caractérisée aussi par la flexibilité ou mobilité de la pensée (par exemple, la capacité de changer les critères de classement : couleur, forme, taille...).

Les stades de l'évolution de la classification sont les suivants :

- Les collections figurales : l'enfant classe les objets présentés en leur attribuant une forme dans l'espace (objets complexes à forme géométrique ou objets collectifs). Par exemple, si on présente des formes géométriques à l'enfant pour les classer, il place un carré sous un triangle en faisant une « maison ». L'enfant peut aussi, à ce stade, passer d'un critère à l'autre en faisant des alignements (par exemple alignements de quelques ronds selon la couleur puis alignements de carrés selon la taille...)

- Les collections non figurales : l'enfant perçoit quelques propriétés mais qui restent collées à l'objet. On note des tas de sous-collections d'éléments identiques (petits ronds rouge – petits ronds bleus – petits ronds verts). Il est encore au stade de collections et pas de classe logique.

- La classification opératoire (confère explication ci-haut)

c. La sériation opératoire

La sériation consiste à mettre en ordre des objets selon une ou plusieurs variables en faisant une abstraction des équivalences. Il s'agit de mettre en relation des différences qui impliquent un ordre temporel. Par exemple, mettre en ordre des bâtonnets selon leur longueur donc on aura un premier, un deuxième,... Cette mise en ordre ne sera possible qu'en faisant intervenir la transitivité (si $a < b$ et $b < c$ alors $a < c$).

De plus, la sériation se base sur deux notions importantes : celle de la compréhension des termes « plus petit / plus grand », et celle de l'extension au niveau du nombre d'éléments composant la série.

Nous notons quatre stades dans le développement de la sériation :

- Stade 1 : l'enfant fait des petites séries d'éléments ordonnés mais indépendantes les unes des autres. Donc il ne peut pas faire une extension de l'ordre à tous les éléments de la série. Par exemple, pour sérier des bâtonnets de hauteurs différentes, l'enfant fait des groupes de deux ou de trois séparés.

- Stade 2 : l'enfant procède par essais. En ordonnant les bâtonnets, il ne respecte pas la ligne de base et ne réussit pas à intercaler un nouvel élément dans la série.

- Stade 3 : L'enfant respecte en même temps les sommets et la ligne de base. Il effectue des réajustements pour sérier correctement à la fin ainsi que pour réussir l'intercalation. Mais on ne note pas la capacité de l'enfant à anticiper et à prévoir le résultat de son action.

- Stade 4 : la sériation est opératoire. L'enfant a mentalisé ses essais/erreurs et il construit la série directement de façon convenable par anticipation.

B. La relation entre les structures logico-mathématiques et la genèse du nombre

L'alliance de ces opérations logico-mathématiques (classification, conservation, sériation) intervient dans la construction du nombre. Selon Piaget, pour que l'enfant puisse acquérir le concept du nombre, il faut qu'il ait développé les structures logico-mathématiques. Ainsi, l'apprentissage de l'aspect ordinal du nombre nécessite l'acquisition de la sériation. Par exemple, pour qu'un enfant arrive à mettre en ordre des nombres (1-2-3-4), il doit être capable de sérier des objets en ordre croissant ou décroissant de grandeur. De même, pour acquérir l'aspect cardinal du nombre, l'enfant doit extraire le critère de quantité (par exemple : deux) et abstraire celui de la nature (2 pommes, 2 animaux, 2 crayons) pour pouvoir les classer selon le nombre d'objets. Ceci fait appel à la classification opératoire. De plus, le principe de non-pertinence de l'ordre des objets nécessite l'acquisition de la notion de conservation. Par exemple, si l'enfant commence à compter de gauche à droite ou de droite à gauche le nombre reste toujours le même.

1.2.3 Le stade des opérations formelles

La caractéristique la plus importante de ce dernier stade est le raisonnement hypothético-déductif. Le sujet commence à raisonner sur des hypothèses énoncées verbalement et des propositions donc sur un matériel symbolique. Il devient aussi capable de vérifier des propositions, tirer des conclusions, déduire, imaginer, appliquer les données pratiquement et mentalement, faire des combinaisons...

Nous avons exposé dans ce chapitre les stades du développement cognitif chez l'enfant ainsi que les caractéristiques de la pensée logico-mathématique qui jouent un rôle fondamental dans l'apprentissage des mathématiques. Ceci dans un but de situer ultérieurement l'enfant dyscalculique par rapport à la norme et de comprendre les mécanismes sous-jacents dysfonctionnels dans le cas de la dyscalculie.

Chapitre 2

LA DYSCALCULIE

Nous allons définir, dans ce chapitre, la dyscalculie, expliquer ses causes ainsi que les différents symptômes observés dans cette pathologie. Nous allons également présenter le dysfonctionnement sous-jacent chez l'enfant dyscalculique tout en essayant de situer ses capacités logico-mathématiques par rapport à la norme.

Généralement, nous allons nous référer dans notre chapitre à plusieurs auteurs. En effet et parmi ces auteurs, certains comme Klees et Mannoni se sont appuyés sur leurs connaissances théoriques et leurs expériences cliniques approfondies dans ce domaine auprès d'enfants présentant une dyscalculie ou un trouble du raisonnement logico-mathématique. D'autres représentent les chercheurs les plus connus en neurosciences cognitives traitant le domaine du nombre et du calcul ainsi que la dyscalculie : Van Hout, Meljac, Dehaene, Molko, Wilson, Barrouillet, Butterworth, et Fayol.

2.1. Définitions

Tout d'abord, et selon le dictionnaire d'orthophonie, « (...) La dyscalculie concerne des enfants, des adolescents et des adultes qui dans la majorité des cas, ne présentent pas de déficit intellectuel mais qui ont soit des troubles électifs en mathématiques, soit des troubles scolaires globaux mais plus aigus en mathématiques. Ces troubles peuvent être liés à une pédagogie non adaptée (malmenage scolaire), à l'outil mathématique lui-même, à des causes affectives ou psychologiques ou à des faiblesses ou retards dans la construction des structures de pensée comme les classifications, les sériations et les conservations (...) ». (Brin et Courier, 1997)

Marianne Klees (1999), pour elle, « L'enfant dyscalculique est un enfant qui présente une forme d'échec spécifique et tenace dans l'apprentissage des nombres et dans celui de l'effectuation des opérations même aux stades élémentaires à un âge

mental où ces notions devraient être acquises depuis longtemps alors qu'il est d'intelligence normale et que par ailleurs, il raisonne fort justement dans les circonstances quotidiennes».

La définition de la dyscalculie utilisée le plus souvent est celle de Kosci (cité par Van Hout et Meljac. 2001). Kosci la définit par une déficience des aptitudes à réaliser les opérations arithmétiques¹ résultant d'un dysfonctionnement des zones cérébrales impliquées dans le développement du calcul. Il insiste aussi sur l'intelligence normale des enfants qui en sont atteints.

Selon Borel Maisonny (cité par Mannoni, 1979), « il s'agit en fait de bien autre chose que de fautes de calcul ou que des distractions coutumières aux mauvais élèves. Certains qui raisonnent fort juste dans les circonstances quotidiennes, semblent brusquement avoir l'esprit incapable d'une démarche logique dès qu'il faut y mêler des chiffres. D'autres paraissent ne pouvoir saisir les termes des énoncés et ne pas même comprendre la nature des questions posées ». Mannoni pense aussi que les difficultés rencontrées touchent le domaine de l'arithmétique et également de la géométrie². Cette dernière est surtout touchée dans la construction du concept de la droite.

Fayol (2012) explique que la dyscalculie est un trouble influençant les compétences numériques et les habiletés arithmétiques, et ceci pour des individus ayant une intelligence normale sans aucun déficit neurologique acquis.

D'autre part, le diagnostic de dyscalculie selon la DSM-V (2013) doit retenir trois critères. Le premier étudie les aptitudes mathématiques évaluées chez le sujet et qui doivent être nettement inférieures au niveau escompté en tenant compte de l'âge, du niveau intellectuel et de l'enseignement de ce sujet. Le deuxième critère explique que le déficit en mathématiques interfère de façon significative avec la réussite

¹ Cf. glossaire

² Cf. glossaire

scolaire ou les activités de la vie courante. Pour le troisième critère, le trouble n'est pas le résultat d'un déficit sensoriel (visuel, auditif ou autre).

D'après ces différentes définitions qui existent, nous pouvons dire que, dans le cas de la dyscalculie, il s'agit d'un syndrome durable avec un dysfonctionnement des habiletés mathématiques et logiques dans le cadre d'une intelligence normale. Ces troubles peuvent se manifester par des difficultés dans la construction de la pensée logico-mathématique, un échec spécifique dans le concept du nombre, l'apprentissage du calcul et de la géométrie.

2.2. Prévalence et causes

Dans son livre « Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique », Barrouillet (2006) rapporte un taux de prévalence entre 3% et 8% d'enfants manifestant des difficultés en mathématiques. De même, Van Hout et Meljac (2001) citent que les troubles du calcul atteignent une prévalence de 3% en tant que troubles isolés avec une moyenne de 6% pour la dyscalculie quelle que soit la définition adoptée (tiré de Kosc).

En ce qui concerne les causes de la dyscalculie, les recherches continuent à ce niveau. Selon Dehaene, Molko et Wilson (2004), et d'après leur article en neurosciences publiée en 2004, ils expliquent que la dyscalculie développementale est liée à un trouble primaire de la perception des nombres, en relation avec une désorganisation des neurones de la région interpariétale du cortex³ cérébral.

D'autre part, Fayol (2012) interprète la dyscalculie en s'appuyant sur deux approches biologiques. La première (tiré de Kosc) tient en compte les déterminants génétiques et les facteurs environnementaux. Les déterminants génétiques (étudiés chez des jumeaux homozygotes) occupent une place faible mais particulière sur la performance en mathématiques. En effet, il existe une relation de deux tiers en lien avec les gènes responsables des capacités générales dans le domaine des

³ Cf. glossaire

mathématiques et une relation de un tiers en lien avec les gènes spécifiques. Cette approche explique aussi que le poids des deux dimensions est le même chez les garçons que chez les filles au niveau des performances.

Concernant les facteurs environnementaux, et pour Dehaene, Molko et Wilson (2004), la place de ceux-ci est présente surtout dans les phases précoces du développement cérébral. En effet, on note un pourcentage de dyscalculie plus élevé chez les enfants prématurés.

La deuxième approche (toujours cité par Fayol, 2012) s'intéresse à comprendre et décrire les troubles mathématiques à partir des désordres d'origine neuro-développementale dans lesquels on trouve des performances faibles en **maths** (comme le syndrome du X fragile⁴, le syndrome de Williams⁵...). En résumé, ces nombreuses études avaient des points en commun: des modifications affectant le cortex pariétal avec une proximité des centres cérébraux impliqués et une association avec des déficits spatiaux.

2.3. Symptomatologie de la dyscalculie

Nous allons étudier dans cette partie les symptômes généraux et les symptômes spécifiques de la dyscalculie développementale.

En premier lieu, il est important de noter que la dyscalculie est moins traitée que les autres troubles d'apprentissage. Elle comporte aussi une symptomatologie diffuse et multiforme (Kless, 1999). Ainsi, nous avons autant de formes de dyscalculie que nous avons des dyscalculiques. De même, les enfants dyscalculiques peuvent camoufler leurs troubles en développant des stratégies de compensation comme la mémorisation des tables de multiplication sans la compréhension de son sens (Dehaene, Molko et Wilson, 2004).

⁴ Cf. glossaire

⁵ Cf. glossaire

De façon générale, les enfants dyscalculiques ont une faible conscience intuitive des chiffres et du mal dans la perception du sens du nombre. Nous notons une mauvaise compréhension des concepts numériques de base (Klees, 1999 et Fayol, 2012).

Ils ont également des difficultés dans l'apprentissage et le rappel des faits arithmétiques même les plus simples. Ainsi l'enfant dyscalculique aura des résultats médiocres dans les tâches même les plus simples comme le comptage ou la comparaison de grandeurs numériques.

D'autre part, ils montrent une dépendance sur des stratégies immatures. Par exemple, un enfant dyscalculique utilise le comptage sur les doigts pour résoudre des problèmes alors qu'un enfant normal saura tout simplement récupérer la réponse de sa mémoire (Butterworth, 2005).

Du point de vue psychologique et affective, Butterworth explique aussi que les activités mathématiques peuvent causer un malaise chez l'apprenant et que les enfants dyscalculiques éprouvent une grande anxiété face aux tâches mathématiques et pas seulement celles difficiles. Cette anxiété est connue pour avoir des effets sur les fonctions cognitives (y compris l'attention et la mémoire de travail) qui peuvent affecter en plus le rendement en mathématiques. Cependant, les effets des facteurs émotionnels restent inconnus pour l'instant à la fois à long terme et court terme en comparant les dyscalculiques avec leurs pairs qui trouvent très facile les notions mathématiques.

De façon plus spécifique, les auteurs de notre chapitre ont pu noter les symptômes suivants :

- Des difficultés à évaluer de petites quantités même lorsqu'il n'y a que deux ou trois objets devant eux (à l'œil nu). Ceci s'appelle le subitizing.
- Un échec dans le concept de cardinalité. L'enfant ne connaît pas le nombre total d'une quantité d'objets comptés.

- Une mauvaise compréhension de l'aspect ordinal du nombre (c.à.d. qu'un nombre puisse être plus grand qu'un autre). Par exemple, 8 est plus grand que 5.
- Une déficience dans la valeur symbolique du nombre. Par conséquent, l'enfant aura du mal à comparer deux valeurs.
- Une difficulté d'assimilation des symboles ou des chiffres. Par exemple, des confusions entre les chiffres proches visuellement (6 et 9) et les règles de lecture et d'écriture (72 est écrit 612)
- Une incapacité à résoudre les problèmes et les opérations même aussi simples, par exemple $7 - 3$.
- Des problèmes de calcul : l'enfant ne sait pas poser une opération convenablement, ou pourrait même commencer une opération par une soustraction et la terminer par une addition.
- Des difficultés à exécuter des tâches d'addition ou de soustraction en comptant sur les doigts (par exemple $5+2 \rightarrow 5-6$) ou perturbation dans l'utilisation des doigts pour compter.
- Difficulté lors du dénombrement et utilisation fréquente des doigts ou autres objets pour compter.
- Une incompréhension verbale du lexique mathématique. Par exemple, les termes nécessitant l'assimilation de certains concepts comme la grandeur, le volume..., ou dans les problèmes mathématiques comme inférieur, supérieur, équivaut...
- Des troubles dans le domaine de la géométrie. On note un déficit dans l'acquisition de la notion de droite et par la suite dans l'apprentissage des théorèmes⁶ géométriques même les plus basiques. De plus, la reproduction, la compréhension et la représentation de figures géométriques paraissent laborieuses (confusions haut/bas, droite/gauche...).
- Des troubles associés dans l'espace tels que l'organisation spatiale ou même la perte du sens de l'espace. Ceci pourrait entraîner des difficultés à poser des opérations, ou à résoudre des problèmes de géométrie.

⁶ Cf. glossaire

- Des troubles associés dans le concept du temps comme avant/après ou s'orienter dans les jours de la semaine ou les mois de l'année.
- Des difficultés dans des tâches de la vie quotidienne : gérer l'argent, estimer le prix d'un produit, ou la distance, ou la taille d'un objet. Par la suite, leur devenir professionnel peut être affecté.

2.4. Mécanismes sous-jacents de la dyscalculie

Nous avons déjà mentionné dans la partie précédente que l'enfant ayant une dyscalculie présente des difficultés dans le concept du nombre. Par la suite, il a du mal à manipuler des quantités, à les comparer, et même à les classer. Or nous savons que le nombre constitue la base de toutes les connaissances mathématiques. Ce qui veut dire qu'un déficit au niveau de ce concept affecterait les performances numériques comme le calcul, les opérations, la résolution de problèmes, etc.

De plus, nous avons expliqué dans le premier chapitre que les structures de classification, de sériation et de conservation sont des caractéristiques de la pensée opératoire. En effet, selon Habib (2007), « la dyscalculie ne dispose pas de certaines aptitudes fondamentales, reconnues comme des prérequis à l'installation des mécanismes normaux du raisonnement abstrait, en particulier arithmétique. Ces prérequis correspondent en fait aux étapes piagétienne telles que la notion de conservation, l'estimation des quantités, ou encore les notions d'égalité et d'inégalité».

De ce fait, l'enfant dyscalculique n'accède pas à la pensée opératoire parce qu'il stagne au niveau du stade préopératoire. Ceci ne lui permet pas de développer la notion de conservation, de sériation ainsi que de classification opératoire. De même, Mannoni (1957) explique que la pensée de l'enfant dyscalculique est dominée par l'aspect figuratif renvoyant tout à son propre monde et à des données subjectives sans prendre en considération les changements et les relations extérieures que subit l'objet.

Il est important de clarifier par un exemple concret le raisonnement logico-mathématique de l'enfant dyscalculique afin de pouvoir comprendre sa spécificité. Un enfant qui n'arrive pas à juger qu'une boule de pâte à modeler transformée en miettes contient toujours la même quantité de pâte, n'a pas la notion de conservation de matière. Par conséquent la non-acquisition de cette conservation ne lui permettrait pas

d'accéder à la conservation numérique. Autrement dit, il n'arriverait pas à juger qu'un nombre d'objets dont nous avons modifié la disposition spatiale reste toujours le même.

L'exemple ci-dessus révèle que la pensée figurative domine le raisonnement de l'enfant dyscalculique, ce qui ne lui permet pas d'accéder à la réversibilité et par la suite d'annuler la transformation mentalement. Comme nous savons, la réversibilité est une caractéristique de la pensée opératoire, ce qui fait que les difficultés d'accès à cette aptitude gêneraient le passage au stade opératoire.

Considérons un autre exemple, un enfant dyscalculique qui présente des difficultés à sérier des objets serait incapable de juger la grandeur des nombres. Ajoutons qu'un enfant qui n'arrive pas à classer des objets selon leur couleur, n'arriverait pas à classer des quantités qui vont ensemble. Dans le même exemple, s'il n'arrive pas à classer selon différents critères (couleur, taille...) par défaut de mobilité ou flexibilité de la pensée, il aurait des difficultés à classer par unités, dizaines et centaines.

D'autre part, il est intéressant d'ajouter les travaux de Gelman (cité par Fayol 2006) qui expliquent que le concept du nombre dépend du développement de dénombrement chez l'enfant. Ceci permet de renvoyer le fait que l'enfant dyscalculique ne développe pas le concept du nombre aux difficultés de dénombrement. Ainsi et selon Halford (1999), « il serait impossible de véritablement développer le concept du nombre sans les processus de quantification car on ne pourrait ni assigner de valeurs numériques à des collections, ni explorer les relations de taille entre collections, ni déterminer aucune des relations complexes existant entre les nombres. Les processus de quantification sont donc fondamentaux. Ils consistent à déterminer la numérosité d'un ensemble d'objets ».

En résumé, nous pouvons conclure que les manifestations de la dyscalculie peuvent être analysées en se basant sur l'existence de plusieurs mécanismes sous-jacents comme la pensée figurative ne permettant pas le développement des structures

logico-mathématiques et aux difficultés de dénombrement manifestées par l'incompréhension de la valeur symbolique du nombre.

En conclusion, et après avoir détaillé la pathologie de la dyscalculie dans différents aspects, nous allons présenter dans le chapitre suivant le raisonnement spatial puisque notre intérêt se porte sur ses spécificités chez l'enfant dyscalculique.

Chapitre 3

LE RAISONNEMENT SPATIAL

Dans ce chapitre nous allons définir le raisonnement spatial tout en étudiant ses différentes caractéristiques ainsi que le développement de l'espace chez l'enfant n'ayant pas de difficultés scolaires. Puisque l'étude du raisonnement spatial nous intéresse pour le domaine mathématique et plus spécifiquement celui de la géométrie, nous allons élaborer ces liens. Par la suite, nous allons exposer les difficultés spatiales que pourra rencontrer l'enfant dyscalculique.

3.1 Définition et caractéristiques du raisonnement spatial

Selon National Research Council (Canada 2006), la position et le déplacement d'objets et de soi, soit mentalement soit physiquement, dans l'espace sont à la base de la construction de la pensée spatiale ou du raisonnement spatial. Ce raisonnement n'implique pas uniquement une procédure ou une habileté particulière, mais il repose sur plusieurs concepts, outils et processus. En effet, les interactions entre les personnes et les objets de leurs environnements sont perçus et intériorisés en fonction des positions, des distances, des orientations, des formes et des régularités présentes dans l'espace.

De plus, « La pensée spatiale est puissante. Elle résout des problèmes en gérant, transformant et analysant des données, tout particulièrement des ensembles de

données complexes et d'envergure, et en communiquant les résultats de ces processus à soi-même et à d'autres. »

En effet, la pensée spatiale retient trois composantes : les concepts d'espace, les outils de représentation et les processus de raisonnement. En d'autres termes, elle nécessite d'une part la compréhension de relations et la coordination des structures spatiales qui s'effectuent à travers des représentations (comme les dessins), et d'autre part les moyens de les communiquer.

De même, le raisonnement spatial revient à notre aptitude à explorer et à résoudre des problèmes mathématiques surtout inhabituels ou nouveaux.

Gardner H. (cité par Newcombe et Frick 2010) le définit par l'intelligence spatiale parmi d'autres types d'intelligence (linguistique, logico-mathématique, musicale, kinesthésique, naturaliste, interpersonnelle et intrapersonnelle)⁷. Il explique que l'intelligence spatiale représente une capacité qui entre en jeu dans les notions mathématiques et de calcul. Elle fournit l'habileté mentale qui aide dans la résolution des problèmes d'espace de navigation, la visualisation d'objets selon différents angles, ainsi que la visualisation des visages ou la reconnaissance de scènes ou de repérage des détails fins.

Pour Newcombe et Frick, (2010), l'intelligence spatiale a une grande importance dans un sens évolutionnaire et adaptatif. Un être mobile doit être capable de naviguer dans son monde pour survivre. Or ceci ne serait possible que s'il se représente son environnement spatial.

3.2 Développement et types de raisonnement spatial

Pour Henriques (1998), l'espace organisé par les adultes résulte d'une longue construction et il n'est pas donné de manière innée. Cette construction est facile pour les uns mais plus difficile pour d'autres.

⁷ Cf. glossaire

De façon générale, si on veut situer l'élaboration de l'espace, les premières notions spatiales reposent sur des rapports très élémentaires comme l'ordre, le voisinage, et l'enveloppement. De même, les premiers repères que l'enfant utilise pour se retrouver et retrouver des objets dans un espace donné partent de son corps qu'il croit absolu. Ainsi lorsqu'il tourne, le monde tourne ou doit tourner avec lui.

À partir de 7 ans, l'espace de l'enfant devient projectif avec l'apparition de la mesure, la conservation des distances et des angles, et la coordination des points de vue. Donc il commence à relier des repères externes entre eux et à les coordonner et ceci implique un grand effort de décentration. Autrement dit, l'enfant comme chacun de nous se retrouve au centre d'un cercle dont le rayon coïncide avec son regard. Quand il est jeune, il a tendance à croire que ce centre est unique. Progressivement mais aussi péniblement, les personnes qui l'entourent l'obligent à prendre en compte le fait qu'il existe d'autres centres uniques que le sien.

Hameline et Vonèche (1996) expliquent que la capacité de se situer dans l'espace, de situer les objets, de changer de point de repère dans nos déplacements repose sur une organisation spatiale qui reste souvent inconsciente. Ils postulent aussi que la personne en prend conscience quand elle se trouve en difficulté comme le cas d'un séjour dans une ville inconnue ou l'utilisation problématique d'un plan ou d'une carte.

De façon plus spécifique, Piaget envisage quatre types d'espace.

A- L'espace agi ou organisation pratique: il est celui du stade sensori-moteur.

C'est un espace non encore représenté et qui est réalisé pratiquement au niveau moteur. Il repose sur l'organisation pratique des déplacements. L'enfant utilise des points de repère perceptifs pour se déplacer dans des espaces familiers et passer d'un point à un autre. Par exemple, il se déplace pour retrouver son jouet.

Après cette première construction, on note l'apparition des autres trois types de l'espace appelé représentatif structurant l'espace des objets. Ces trois types sont à la fois représentatif et objectif, dans la mesure où, il ne s'agit plus seulement de se déplacer dans l'espace, mais d'envisager l'espace lui-même.

B- L'espace topologique ou l'organisation topologique: l'enfant va pouvoir établir les premières relations spatiales dont il va être capable de **se** souvenir (conserver en mémoire). L'espace topologique s'élabore dès le stade sensori-moteur jusqu'à la fin du stade préopérateur (7-8 ans). Il s'agit de la capacité d'établir des relations spatiales entre soi et des points de repère ainsi que de ces derniers entre eux-mêmes. Par exemple, être devant la porte ou à gauche de l'escalier, la salle des maîtres est au-dessous de notre classe ou l'arrêt de bus est derrière l'école.

En d'autres termes, une personne maîtrise ce type d'espace lorsqu'elle apprécie la position relative d'un élément de son environnement de façon élémentaire et qualitative, et ceci en se référant à son seul point de vue. Donc elle sera capable de positionner un objet se situant dans son champ visuel par rapport à un autre.

On note plusieurs types de relations topologiques : relations de localisation (devant, à droite...), relations de voisinage (loin, près de, à côté,...), relations d'enveloppement (d'inclusion, au milieu, à l'intérieur, l'extérieur,...), relations de continuité (à la limite, bord, joindre, toucher,...), relations de succession (au début, en avant, au bout,...) et relations de séparation (séparé, écarté, en dehors,...).

C- L'espace projectif ou l'organisation projective: ce type implique la mise en relation des perspectives et la construction d'une habileté très importante celle de la décentration. Il se développe à partir du stade opératoire (7-8 ans). Il constitue la capacité d'établir des relations spatiales entre des points de repère mais ceci en considérant le point de vue de l'observateur. Par exemple, la salle de rythmique est après ou avant les toilettes selon la place de la personne qui l'observe. Une personne montre la construction des relations projectives quand elle perçoit les positions relatives des éléments de l'environnement tout en pouvant adopter un point de vue différent de celui qu'elle a réellement sur cet

environnement. Donc elle est capable de se mettre mentalement à la place d'autrui, et comprend notamment la possibilité d'inverser certaines relations.

Nous allons donner un exemple plus concret qui nous aide à distinguer entre l'espace topologique et l'espace projectif. On montre à un enfant une maquette représentant 3 montagnes, dont l'une est grande, l'autre moyenne, et la dernière est petite. L'enfant ayant construit la représentation d'un espace topologique comprend que la grande montagne est à droite des montagnes plus petites. Mais en lui montrant une poupée se trouvant de l'autre côté de la maquette, et quand il ne répond pas correctement à des questions comme "pour la poupée, la grande montagne est-elle aussi à droite de la petite? » ; ceci veut dire qu'il n'a pas encore construit l'espace projectif. En effet, l'enfant dans ce cas ne peut répondre qu'en se référant à son propre point de vue, et donc, il localise les objets et les relations à partir de sa propre localisation.

D- L'espace euclidien ou géométrique ou l'organisation euclidienne : ce type apparaît aussi avec le stade opératoire et continue à se développer dans le stade formel. L'espace euclidien en mathématiques correspond à savoir positionner et se positionner dans un espace de coordonnées. Il sert par exemple à estimer la distance ou la direction ou la position... des caractéristiques des objets contenus dans cet espace.

Nous l'utilisons également pour appréhender une échelle c'est-à-dire les figures géométriques, la mesure, les proportions sur une maquette. Essayons de concrétiser avec ces multiples exemples. Le centre d'un parc ressemble à un rectangle, avec des marches d'escalier. Il est plus grand que notre école. Il est plus près de l'école que de la gare : on n'a pas besoin d'y aller en bus. Pour l'utilisation d'un système de coordonnées (l'horizontalité, la verticalité) : une maison sur une pente est perpendiculaire au sol et non à la pente, une cheminée sur un toit est perpendiculaire au sol et non au toit, l'horizontalité d'un liquide dans un récipient demeure quelle que soit la position du récipient.

En résumé, l'élaboration de ces différents types d'espace constitue un élément majeur dans la construction du concept de la droite, l'acquisition des diverses notions géométriques ainsi que le développement des capacités de représentations et d'analyse des figures géométriques (Sarama et Clements, 2009 et Mannoni, 1979).

3.3 Lien entre le raisonnement spatial et les mathématiques / la géométrie

Il est important de noter que rares sont les études qui traitent la pensée spatiale dans le domaine des mathématiques spécifiquement en géométrie.

En premier lieu, Mix et Cheng (2012) jugent que la relation entre l'habileté spatiale et les mathématiques est tellement bien fondée qu'il n'y a plus lieu de se questionner quant à l'existence de ce lien. Selon Newcombe (2013), les mathématiques demandent de bonnes habiletés spatiales. Ainsi, nous pouvons dire que les personnes possédant des habiletés spatiales développées obtiennent de bons résultats en mathématiques.

En effet, Wai, Lubinski, et Benbow (2009) réalisent une étude longitudinale auprès de 400000 participants (entre les classes EB9 et EB12) qui ont été tirées à partir d'un échantillon aléatoire de lycées américains et qui ont été suivis pendant 11 ans. Les données longitudinales sont prises 1 an, 5 ans, et 11 ans après l'obtention du diplôme d'études secondaires par ces participants. Dans cette étude, on a examiné spécifiquement ceux qui ont reçu un haut degré académique (un baccalauréat, maîtrise ou doctorat) ainsi que leurs occupations. Le but est d'identifier l'existence de lien entre la capacité spatiale et la performance dans les domaines de sciences et de l'ingénierie. Les élèves ont été évaluées avec un grand nombre de tests et de questionnaires sur une période d'une semaine. Le total de l'échantillon inclus environ 50.000 hommes et 50.000 femmes par niveau de classe.

Concernant l'évaluation, les tâches administrées les plus intéressantes étaient conçues pour évaluer les capacités cognitives de plusieurs aspects. Le premier aspect étant les mathématiques : des définitions, du raisonnement arithmétique, des devinettes numériques, de l'algèbre, de la géométrie, de la logique.... Le second aspect est celui du langage : des tâches de vocabulaire, de compréhension et d'expression écrite. Le troisième aspect constitue la composante spatiale : des visualisations de figures en rotation et des relations spatiales dans des figures complexes. Les résultats montrent l'importance de la capacité spatiale par rapport à la compétence dans les domaines scientifiques et surtout mathématiques.

En second lieu, la recherche sur le raisonnement spatial montre que celui-ci occupe une grande place dans les études de la géométrie et de la mesure non seulement dans les classes secondaires et au-delà mais aussi dès le début des expériences de l'enfant avec les mathématiques (Verdine et Newcombe, 2013 et Shumway, 2013).

Dans ce sujet, le National Research Council (Canada 2006) considère également que la géométrie et le raisonnement spatial est un aspect important dans l'apprentissage des mathématiques dès les classes maternelles et primaires. Ainsi, lorsqu'un enfant manipule un prisme rectangulaire dans le but de bien le placer dans le château qu'il construit avec des blocs d'un jeu de construction, il emploie le raisonnement spatial. La même situation se répète avec un élève qui se sert du schéma d'un rectangle pour prouver que la formule qui sert à trouver l'aire de la surface d'un triangle est la moitié du produit de la longueur de sa base b et de sa hauteur h ($b \times h / 2$).

De même, Clements et Sarama (2011) expliquent que la géométrie et le sens de l'espace sont étroitement liés. Le mot géométrie représente la « mesure de la Terre » et implique de façon directe la mesure et le déplacement des objets dans l'espace.

Ainsi, dans une étude de Sinclair et Bruce (2014), on demande à 114 étudiants du cycle secondaire de participer à une évaluation de la pensée spatiale et de la géométrie. L'objectif de l'étude est de tester s'il existe des différences dans la

performance de la géométrie entre ceux qui obtiennent un score élevé et ceux qui obtiennent un score bas au niveau spatial. Les mesures utilisées dans l'évaluation de la pensée spatiale sont la rotation mentale des tâches et le papier pliant. Les résultats montrent une grande différence significative entre les deux groupes : les participants avec un score spatial élevé présentent également un meilleur score en géométrie surtout dans les tâches complexes et vice-versa.

Cependant, même si les faits dans les recherches suggèrent que la pensée spatiale possède un rôle important dans plusieurs domaines mathématiques (comme en arithmétique, en géométrie..), savoir de façon exacte comment les habiletés spatiales sont liées aux habiletés en mathématiques et savoir quels types de ces habiletés spatiales sont liés à quels types d'habiletés mathématiques, sont des questions qui restent à clarifier.

3.4 Difficultés du raisonnement spatial chez l'enfant dyscalculique

Il est important de signaler que les travaux concernant les difficultés de l'enfant dyscalculique dans le raisonnement spatial sont peu nombreux mais encore moindres dans le domaine spatial lié à la géométrie.

Tout d'abord, Rourke (1993) a mené une recherche auprès des jeunes enfants de 9 à 14 ans présentant une dyscalculie que ce soit associée ou non à des difficultés au niveau du langage écrit. Les enfants du groupe uniquement dyscalculique montrent une capacité spatiale très faible. Cette recherche a aussi constaté que les difficultés dans la pensée spatiale augmentent avec le temps.

De même, Sarama et Clements (2009) expliquent que l'enfant présentant des difficultés dans l'apprentissage des mathématiques présente un déficit à « subtiliser » (de percevoir très rapidement des petites quantités et savoir le nombre correspondant sans avoir à les compter). Ce déficit est lié à un défaut de représentation de la disposition spatiale des quantités mises en question.

Concernant la pensée spatiale liée à la géométrie, Sadek Khalil (1976) cite que les échecs à ce niveau peuvent se manifester par des difficultés de la compréhension du langage spatial et de l'expression des termes spatiaux. Sarama et Clements attribuent eux-aussi une grande place au langage spatial.

Mannoni (1979) découvre que les difficultés observées chez des enfants présentant un trouble logicomathématique peuvent se situer à plusieurs niveaux. L'orientation spatiale reste incertaine et indifférenciée de l'orientation absolue. Elle peut se traduire par exemple par des erreurs de reproduction de figures géométriques. La coordination spatiale comme entre des éléments d'une figure est faible. Un autre déficit observé auprès de ces enfants est celui de la décentration qui reste involontaire et incontrôlable.

En conclusion de ce chapitre, nous avons essayé de situer le raisonnement spatial selon différents aspects et plus spécifiquement dans le domaine de la géométrie dans le but de pouvoir l'étudier de façon précise chez l'enfant dyscalculique dans la partie pratique.

Chapitre 4

MÉTHODOLOGIE

Après avoir présenté la partie théorique visant à expliquer la dyscalculie ainsi que le raisonnement spatial qui entre en jeu dans la construction de la géométrie, nous allons aborder la partie pratique afin d'évaluer ce raisonnement chez l'enfant dyscalculique.

Dans ce chapitre, nous allons exposer la problématique qui nous a incitée à choisir ce sujet, l'objectif et la démarche de travail ainsi que les différents critères sur lesquels nous nous sommes appuyées dans le choix la population.

4.1 Problématique

Les difficultés en dyscalculie apparaissent aussi bien au niveau numérique qu'au niveau de la géométrie. Les chercheurs se sont surtout intéressés à la construction du nombre et à l'arithmétique tandis que le domaine de la géométrie reste peu exploité bien qu'il est indispensable de le traiter dans les rééducations orthophoniques. Comme nous avons expliqué dans la partie théorique (cf. chapitre trois), la maîtrise de la géométrie est liée à la construction de la pensée spatiale. Une bonne prise en charge orthophonique dépendrait donc d'une évaluation précise de la pensée spatiale permettant par la suite de travailler des objectifs bien ciblés favorisant la construction des notions géométriques. La question est de savoir quelles sont les spécificités de cette pensée chez l'enfant dyscalculique ? Autrement dit, en quoi le raisonnement spatial nécessaire à la géométrie est-il touché?

Tout cela nous a suggéré de procéder à une évaluation de la pensée spatiale en lien avec la géométrie chez l'enfant dyscalculique.

4.2 Objectif du travail

L'objectif de notre travail est d'évaluer et de caractériser les capacités du raisonnement spatial de l'enfant dyscalculique. Dans les chapitres précédents, nous avons développé les aspects de ce raisonnement indispensables à l'apprentissage de la géométrie. Nous avons alors choisi d'étudier ces différents aspects chez l'enfant dyscalculique sans troubles associés afin de dégager leurs spécificités.

4.3 Démarche adoptée

L'objectif de notre travail étant l'évaluation et la caractérisation du raisonnement spatial en dyscalculie, nous avons choisi d'administrer à des enfants dyscalculiques des épreuves de raisonnement spatial tirées de bilans de rééducateurs en logico-mathématique. Ces épreuves n'étant pas normalisées, il était indispensable de le faire auprès d'enfants qui suivent un cursus scolaire normal. Un bilan logico-mathématique administré à ces enfants nous a permis d'éliminer ceux présentant des troubles d'apprentissage. Par la suite, nous leur avons administré les tâches de raisonnement spatial.

Une deuxième étape de notre travail consistait à tester le raisonnement spatial spécifique à la géométrie chez des enfants dyscalculiques pour dégager ses particularités. Pour ce faire, nous avons évalué les capacités logico-mathématiques chez des enfants faibles uniquement en mathématiques ; ce qui nous a permis de recruter notre échantillon d'enfants dyscalculiques.

4.4 Choix de la population

Comme nous avons déjà mentionné, nous avons eu besoin de normaliser les épreuves choisies dans notre évaluation. Ceci a été fait auprès d'un groupe appelé contrôle qui nous a servi pour faire la comparaison des enfants dyscalculiques par rapport à la norme.

Les critères d'inclusion de ce groupe contrôle sont :

- Suivre un apprentissage régulier sans difficultés à l'école.
- Etre âgé entre 7 ans et demi et 8 ans et demi. En effet, cette tranche d'âge correspond au début du stade de la pensée opératoire, à partir duquel on pourra poser le diagnostic de dyscalculie.
- Etre en fin de classe EB3 afin de pouvoir parler de retard spécifique dans les tâches numériques telles que les opérations de base (addition / soustraction).
- Appartenir à un niveau socio-économique moyen défini selon les droits de scolarité perçus par les écoles que fréquentent les participants.

Par contre, le critère d'exclusion du groupe contrôle est de présenter une dyscalculie suite au bilan que nous avons effectué.

Notons que la difficulté que nous avons affrontée pour ce groupe était dans le recrutement des enfants puisque le temps de passation des épreuves est relativement long (étalée sur deux séances) et que le nombre d'enfants dont nous avons besoin est élevé. Nous avons recherché alors des enfants auprès des écoles et des colonies pour trouver notre échantillon. Le groupe contrôle a comporté 60 enfants sans difficultés scolaires après avoir écarté 5 enfants car nous avons douté de troubles tels que troubles graphiques, troubles attentionnels et hyperactivité.

D'autre part, le deuxième échantillon est formé d'enfants libanais présentant une dyscalculie (Dys) en l'absence de troubles associés pour éviter l'influence de ces derniers sur les résultats. Par exemple, si nous allons considérer un enfant dyscalculique qui présente aussi une hyperactivité, nous ne pourrions pas faire la part dans l'analyse entre les difficultés de la pensée spatiale spécifiques à la dyscalculie et celles liées à l'hyperactivité.

Pour le groupe Dys, nous avons adopté les critères d'inclusion suivants :

- Avoir un échec scolaire uniquement au niveau des apprentissages en mathématiques.
- Présenter une dyscalculie diagnostiquée suite à un bilan logico-mathématique que nous avons effectuée.

- Etre âgé entre 7 ans et demi et 8 ans et demi et en fin de classe EB3.
- Avoir les mêmes caractéristiques démographiques que le groupe contrôle.

Les critères d'exclusion adoptés pour Dys étaient les suivants :

- Présenter un trouble associé tel qu'une hyperactivité, des troubles neurologiques (épilepsie ou autre), une dyslexie-dysorthographe, ou un retard de langage oral.....

- Etre pris en charge en orthophonie puisque l'enfant pourra développer des stratégies travaillées en thérapie pouvant fausser par la suite les résultats de notre étude.

En effet, nous avons rencontré de même une difficulté majeure dans la recherche du groupe Dys: trouver des enfants dyscalculiques sans troubles associés et sans suivi thérapeutique. C'est pourquoi l'échantillon fut tiré de plusieurs écoles ainsi que de cabinets d'orthophonistes libanais exerçant en libéral. Il est formé de 20 enfants dyscalculiques qui répondent à nos critères après avoir rejeté 3 enfants car nous avons douté d'autres pathologies (retard mental, troubles de langage écrit, hyperactivité).

En conclusion, après avoir précisé notre démarche de travail, nous allons expliquer les tâches du bilan administré dans le chapitre qui suit.

Chapitre 5

LE BILAN

Nous exposerons dans ce chapitre les différentes données nécessaires à la passation des épreuves du bilan. Puisque nous évaluons les habiletés de la pensée spatiale chez l'enfant dyscalculique, nous avons choisi des épreuves touchant les aspects logico-mathématique et spatial.

5.1 Mode de passation

La passation des tâches a été exécutée sur deux séances (de 45 minutes chacune) dans une salle privée et ceci de façon individuelle pour des élèves libanais francophones ou anglophones ⁸(un pré-test auprès de 10 enfants anglophones était nécessaire à réaliser afin d'évaluer la sensibilité des épreuves). Un ordre pseudo-aléatoire de passation a été respecté mais de la façon suivante : le bilan logico-mathématique a été fait en première partie pour confirmer ou non une dyscalculie, par la suite les épreuves spécifiques au raisonnement spatial. Nous avons ainsi alterné l'ordre de passation des tâches dans chacune des deux parties du test selon les participants tout en respectant cette condition.

5.2 Epreuves du domaine logico-mathématique

Afin de pouvoir poser le diagnostic de dyscalculie, le domaine logico-mathématique comprend des épreuves de logique ainsi que des épreuves numériques. Les tâches sont choisies à base piagétienne et sont adoptées par le groupe GEPALM (Groupe d'Etude sur la Psychopathologie des Activités Logico-Mathématiques – Paris) dans l'évaluation de cette partie. Les épreuves de logique comprennent la classification, la sériation et la conservation. Les épreuves numériques comprennent la numération et le concept des opérations. Nous allons expliquer chaque épreuve en détaillant l'objectif, le matériel, le déroulement et la consigne pour chacune.

⁸ L'adaptation des épreuves en Anglais est présente en Annexes 1 et 2

5.2.1 L'épreuve de classification (le tri dichotomique)

Objectif : parvenir à effectuer et à récapituler correctement les trois dichotomies successives selon deux critères différents. En effet, théoriquement, la classification nous permet de dégager un critère et d'abstraire les autres.

Matériel : des figures géométriques en carton qui sont différentes en couleur (rouges et bleus), en forme (ronds et carrés) et en taille (grands et petits) avec deux boîtes plates.

Déroulement : On présente les figures en désordre à l'enfant.

a- *Classification spontanée* : On demande d'abord à l'enfant de décrire ce qu'il voit, puis on lui demande de mettre ensemble les figures qui vont bien ensemble. L'enfant doit justifier sa classification.

b- *Dichotomie* : On lui demande de les ranger dans les deux boîtes de façon à faire deux tas ou deux familles. Il doit de même justifier et donner un nom à chaque tas.

c- *Premier changement de critère* : on demande à l'enfant de classer les figures dans les deux boîtes d'une autre façon. En cas de nécessité, l'expérimentateur amorce lui-même une nouvelle classification et demande à l'enfant de continuer (L'amorce est une aide au classement qui consiste à commencer une classe en mettant quelques cartes amorçant ainsi le critère que nous voulons faire remarquer à l'enfant). On procède ensuite de la même façon qu'en *b* *Dichotomie*.

d- *Second changement de critère* : On fait la même procédure que celle en *c* « *Premier changement de critère* ».

Consigne : elle sera présentée selon chaque étape du déroulement.

a- *Classification spontanée* : Tout d'abord pour le Déroulement, « Dis-moi ce que tu vois » puis « Peux-tu mettre en tas tous ceux qui vont ensemble ? Mets

tous ceux qui sont pareils dans un tas...Mets ensemble ceux qui se ressemblent beaucoup ». Quand l'enfant termine, « Pourquoi as-tu mis comme ça ? ».

- b- *Dichotomie* : « Maintenant pourrais-tu en faire seulement deux tas (familles) et les mettre dans ces deux boites ? ». Quand l'enfant termine, « Pourquoi as-tu mis tous ceux-ci ensemble ? Et ceux-là ? Comment pourrait-on appeler ce tas ? Et celui-là ? ».
- c- *Premier changement de critère* : « Pourrais-tu les arranger encore autrement en deux tas ? ». Si l'enfant revient au premier critère : « Tu as déjà fait cela. Peux-tu trouver un autre moyen de les mettre ensemble, en deux tas ? ».
- d- *Second changement de critère* : « Est-ce que tu pourrais encore les mettre autrement en deux tas ?...Peux-tu les arranger encore d'une autre manière ? ». Eventuellement, on demande à l'enfant de récapituler les deux autres classifications : « La première fois, comment les avais-tu mis ?...Et ensuite ? ».

5.2.2 L'épreuve de sériation (dessin des ronds)

Objectif : parvenir à coordonner une relation d'ordre dans une série. La sériation demande un double regard (un élément A peut à la fois être plus petit qu'un élément B et plus grand qu'un élément C).

Matériel : un papier blanc avec trois cercles de tailles et de couleurs différentes comme dans la figure 1 – un autre papier blanc sur lequel l'enfant va dessiner avec un crayon.

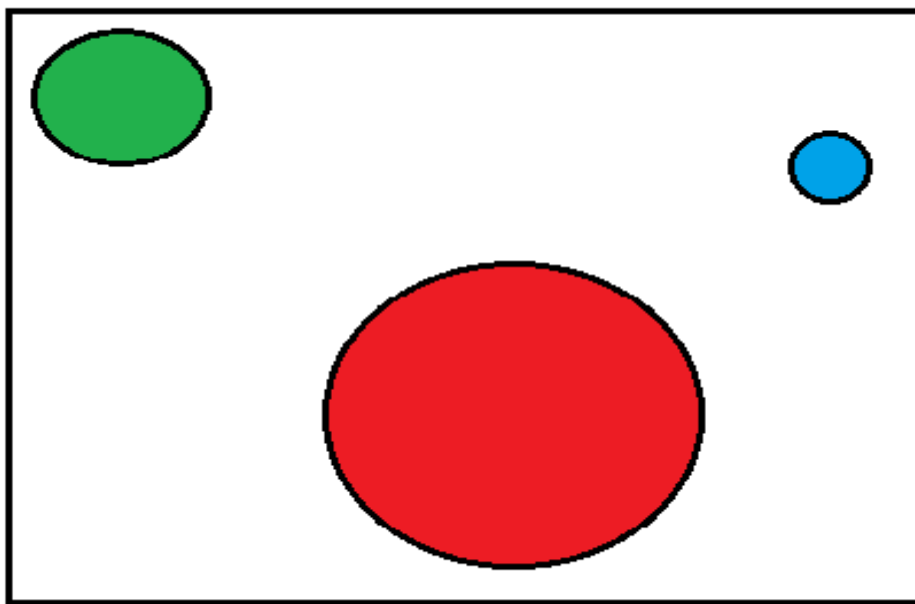


Figure 5.1 : Epreuve de sériation

Déroulement : on dénomme à l'enfant les différents ronds sur le premier papier blanc selon leurs couleurs en les montrant (Figure 5.1). On lui explique qu'il s'agit de dessiner sur l'autre papier en lui donnant à chaque fois la consigne correspondante, tout en attendant qu'il termine son dessin.

Consigne : « Voici un rond vert, un rond rouge et un rond bleu. Tu vas dessiner ici un rond qui soit plus petit que le rond bleu...tu vas dessiner un rond qui soit plus grand que le rond rouge...tu vas dessiner un rond qui soit plus grand que le rond vert et plus petit que le rond rouge...tu vas dessiner un rond qui soit plus grand que le rond bleu et plus petit que le rond vert...tu vas dessiner un rond qui soit plus grand que le rond rouge et plus petit que le rond bleu ».

5.2.3 L'épreuve de conservation de la longueur

Il est important de noter qu'il existe plusieurs types de conservation telle que celle du nombre ou de la matière mais nous avons choisi la conservation de la longueur car elle est à la base de la construction de la notion de droite. Cette dernière

est cruciale dans le domaine de la géométrie. En effet, ce type de conservation est construit à sept ans environ.

Objectif : affirmer l'invariance de la longueur de deux ficelles quelles que soient les transformations de formes exécutées par l'examineur sur l'une d'elles et tout en utilisant les arguments appropriés. L'enfant devra y parvenir sans manipuler le matériel après la phase d'égalisation des ficelles.

Matériel : deux ficelles de longueur égale.

Déroulement : on propose à l'enfant deux ficelles de même longueur placées l'une en dessous de l'autre (état initial). On exécute trois transformations successives à l'une des ficelles tout en revenant à chaque fois à l'état initial. L'enfant doit juger de l'identité de la longueur des ficelles après chaque modification. Les trois transformations sont : déplacement de l'une de deux ficelles latéralement, déplacement de l'une de deux ficelles obliquement, transformation de l'une des deux ficelles en serpent.

Consigne : elle sera donnée respectivement avant chaque transformation.

- a- Etat initial : « Tu vois ces deux ficelles...elles sont la même chose longues...elles sont de longueur pareille » (on peut laisser l'enfant vérifier).
- b- Première transformation : « Et maintenant qu'est-ce que tu en penses? Est-ce qu'elles sont même chose longues ? est-ce qu'elles sont de longueur pareille ? ou est-ce que celle-ci est plus longue ? ou est-ce que celle-là est plus longue ? Comment le sais-tu? Expliques-moi ».
- c- Etat initial : « Et maintenant qu'est-ce que tu en penses? est-ce qu'elles sont de longueur pareille ? ou est-ce que celle-ci est plus longue ? ou est-ce que celle-là est plus longue ? ».

On répète la même consigne à chaque transformation. Ainsi, une contre-suggestion est proposée selon la réponse de l'enfant et après chaque justification donnée.

Si l'enfant répond par la non conservation, on propose la contre-suggestion suivante : « L'autre jour un enfant de ton âge a dit que les deux ficelles sont de longueur pareille. Qu'est-ce que tu en penses toi? Pourrais-tu me dire comment tu lui expliquerais, toi, pourquoi tu ne penses pas comme lui? ».

Si l'enfant répond par la conservation, la contre-suggestion sera proposée cette fois-ci dans le sens inverse.

5.2.4 L'épreuve du concept des opérations

Nous devons mentionner qu'il existe une différence entre comprendre le concept d'une opération et le généraliser à plusieurs domaines. Par exemple, si un enfant est capable de faire une addition uniquement avec un matériel numérique (c.à.d. à travers des nombre écrits sur le papier), ceci implique qu'il n'a pas construit le concept de l'addition et qu'il l'applique mécaniquement avec ce matériel.

Alors que, au cas où l'enfant peut exécuter une addition avec un matériel non numérique (par exemple des jetons), on peut dire que le concept de cette opération est construit et généralisable à d'autres domaine autre que le domaine numérique. Il est important aussi de mentionner que nous allons se limiter aux concepts d'addition et de soustraction car ce sont les seules opérations que l'enfant est conçu exécuter correctement en fin de classe EB3.

Objectif : parvenir à montrer une situation d'addition et de soustraction avec un matériel non numérique (des jetons).

Matériel : des jetons de la même couleur et de la même taille.

Déroulement : L'examineur demandera à l'enfant d'exécuter des opérations d'addition et de soustraction à travers une manipulation de jetons et de justifier sa réponse.

Consigne : on donne la consigne convenable pour chaque opération.

Pour l'addition : « Fais-moi une addition avec les jetons ». Si l'enfant n'a pas

saisi la consigne, on lui donne oralement une opération à réaliser en disant : « Fais-moi $7+4$ avec les jetons. Explique-moi ».

- Pour la soustraction : « Fais-moi une soustraction avec les jetons ». Si l'enfant n'a pas saisi la consigne, on lui donne oralement une opération à réaliser en disant : « Fais-moi $8-3$ avec les jetons. Explique-moi ».

5.2.5 L'épreuve de numération

La numération consiste à réaliser des groupements par dizaine ou paquet de dix, par centaine ou paquet de dix dizaines, par milliers ou paquet de dix centaines. Nous allons nous limiter dans cette épreuve aux groupements par centaine comme limite conforme entre 7ans et demi et 8 ans et demi.

Objectif : savoir le nombre correct d'allumettes présentées.

Matériel : une boîte contenant des allumettes présentées en isolé, en paquets de dix et de cent – des élastiques.

Déroulement : on montre concrètement à l'enfant la façon de faire un paquet de dix allumettes et ceci en comptant dix allumettes et les attachant par **un** élastique. L'enfant est amené lui-même aussi à faire un paquet pareil. On présentera après 4 paquets de dix allumettes avec 3 allumettes isolées et l'enfant doit savoir le nombre total d'allumettes. On procède de la même façon pour le paquet de centaine et on amène aussi l'enfant à le faire. On présentera après 3 paquets de cent allumettes avec 5 paquets de dix allumettes et 7 allumettes isolées. L'enfant doit aussi savoir le nombre total d'allumettes.

Consigne : Concernant la représentation des paquets de dizaine, la consigne est la suivante : « Regarde ce que je vais faire...je compte 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 et quand j'ai 10 allumettes je les attache de cette façon avec l'élastique et j'ai maintenant un petit paquet de dix allumettes. Peux-tu faire un petit paquet pareil ? ». Concernant la question du nombre total, la consigne sera : « je te donne maintenant ceci...Si je les détache tous, combien tu auras ? ».

La consigne pour les paquets de centaine sera pareille.

5.3 Epreuve du domaine du raisonnement spatial

Afin de pouvoir étudier les caractéristiques de l'espace chez l'enfant dyscalculique, nous avons choisi des épreuves qui permettront de tester les différents types d'espace qui interviennent dans la construction de la géométrie. Les tâches ont été tirées du groupe GEPALM ainsi que du test U.D.N., de batteries (Bilan RV) et de tests créés par spécialistes dans le domaine de la psychologie cognitive (« un test de langage », Sadek Khalil). Elles comprennent : l'espace topologique, l'espace euclidien, et le dessin géométrique et l'expression. Nous avons choisi aussi des tâches complémentaires qui interviennent dans l'acquisition de ces notions spatiales : l'épreuve de décentration ainsi que l'épreuve de reproduction de formes.

5.3.1 L'épreuve de l'espace topologique

Objectif : parvenir à représenter correctement par le dessin les relations de voisinage et de frontière.

Matériel : un papier sur lequel se trouve un dessin – un crayon

Déroulement : on raconte à l'enfant une courte histoire en la représentant par des symboles sur le papier. Dans l'histoire, le jardin est représenté par le papier, les moutons sont représentés par des ronds éparpillés et le loup est représenté par une croix. L'enfant est par la suite invité sur deux fois à dessiner les frontières appropriées entre les ronds et la croix (Figure 5.2, Figure 5.3).

Consigne : « Regarde...on a ici un papier qu'on va prendre pour un jardin. Dans ce jardin, il y avait des moutons qui broutaient l'herbe avec un berger qui était en train de les observer pour en prendre soin. Soudain un loup est venu. Le berger se dit qu'il faut vite faire une barrière pour que le loup n'entre pas et ne mange pas les moutons...Et toi tu vas l'aider en la dessinant....maintenant aussi tu vas faire pareil, dessiner la barrière ».

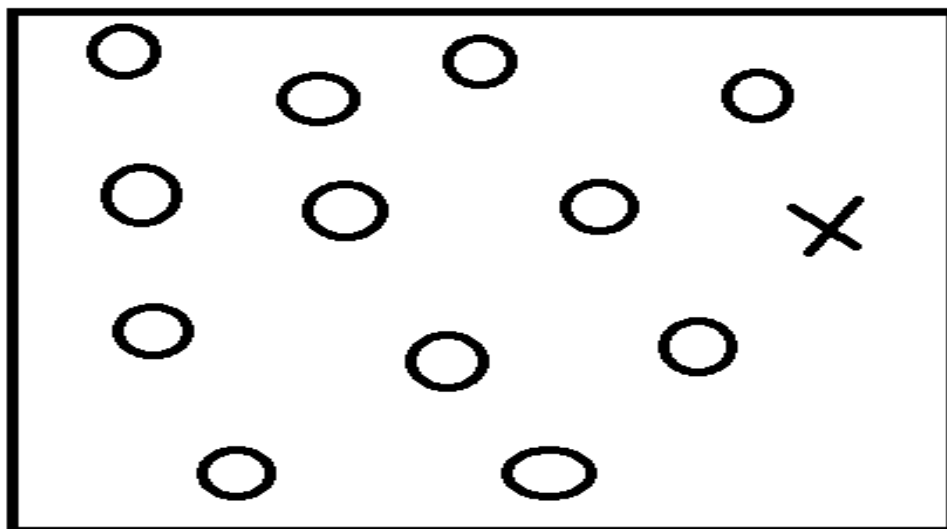


Figure 5.2 : Epreuve de l'espace topologique (a)

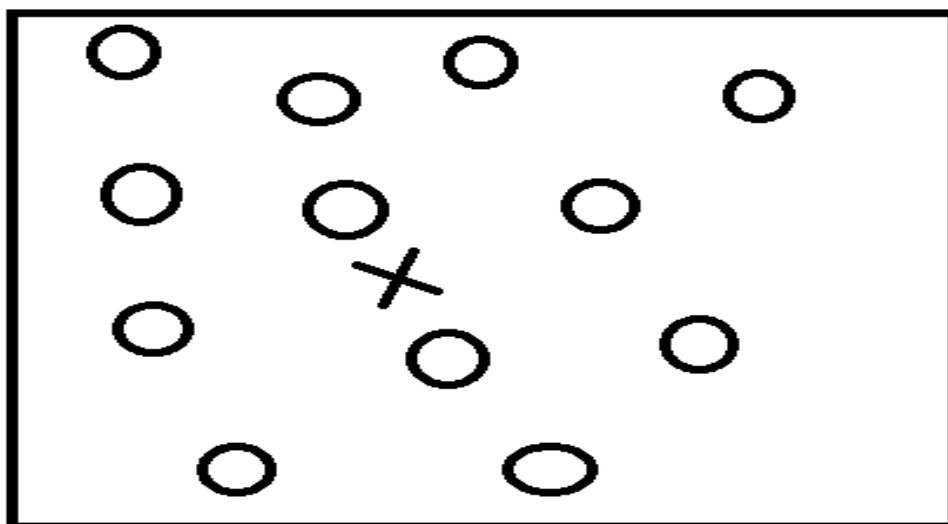


Figure 5.3 : Epreuve de l'espace topologique (b)

5.3.2 L'épreuve de l'espace euclidien

Objectif : parvenir à représenter correctement par le dessin les dimensions des éléments d'une figure (Figure 5.4).

Matériel : un papier sur lequel est dessinée la figure complexe – un autre papier sur lequel l'enfant va dessiner – des crayons de couleurs.

Déroulement : l'enfant est invité tout d'abord à copier la figure présentée avec un crayon de couleur qui sera changé par d'autres pendant la passation. Il est invité par la suite à la dessiner pour une deuxième fois après l'avoir cachée.

Consigne : pour le copiage de dessin, la consigne est la suivante : « voici cette figure que tu vas essayer de copier avec un crayon de couleur...tu vas la dessiner pareillement le mieux possible...en travaillant je vais te donner d'autres crayons de couleur pour les utiliser...vas-y ». Pour le dessin sans le modèle, la consigne sera : « maintenant tu vas faire la même chose mais sans la figure devant toi ».

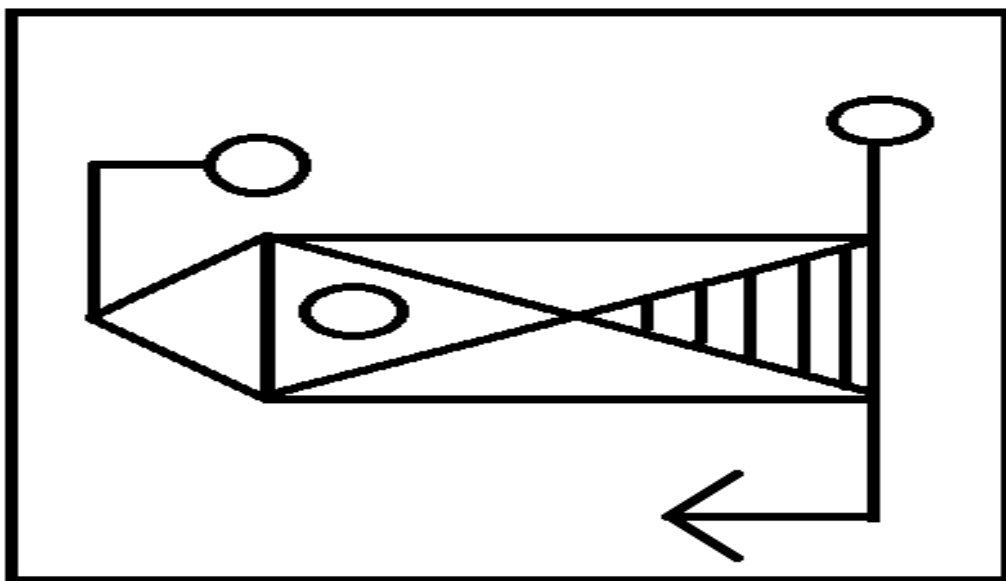


Figure 5.4 : Epreuve de l'espace euclidien

5.3.3 L'épreuve du dessin géométrique et l'expression

Cette épreuve vise à évaluer l'expression des relations spatiales en lien avec la géométrie chez l'enfant. Cependant, elle peut être un examen de la compréhension pour les items échoués en expression : il suffit de cacher les dessins et de demander à l'enfant de faire le dessin correspondant à la phrase écrite. Cette épreuve est formée de 7 items avec l'item modèle (figure 5.5). A noter qu'elle peut être administrée oralement aussi (par exemple en cas de fatigue de l'enfant ou par économie de temps).

Les items sont les suivants :

- Item modèle : dessiner un rond et le partager en deux horizontalement.

- Item 1 : dessiner un carre et placer une petite croix au milieu.
- Item 2 : dessiner un rond et le traverser par une ligne droite.
- Item 3 : tracer une ligne droite et placer un petit carré au-dessus.
- Item 4 : tracer deux lignes droites qui se rencontrent.
- Item 5 : dessiner un rond et l'entourer de petites croix.
- Item 6 : dessiner un carré et mettre un point dans chaque angle.
- Item 7 : dessiner trois ronds (ou trois cercles) de grandeur différente.

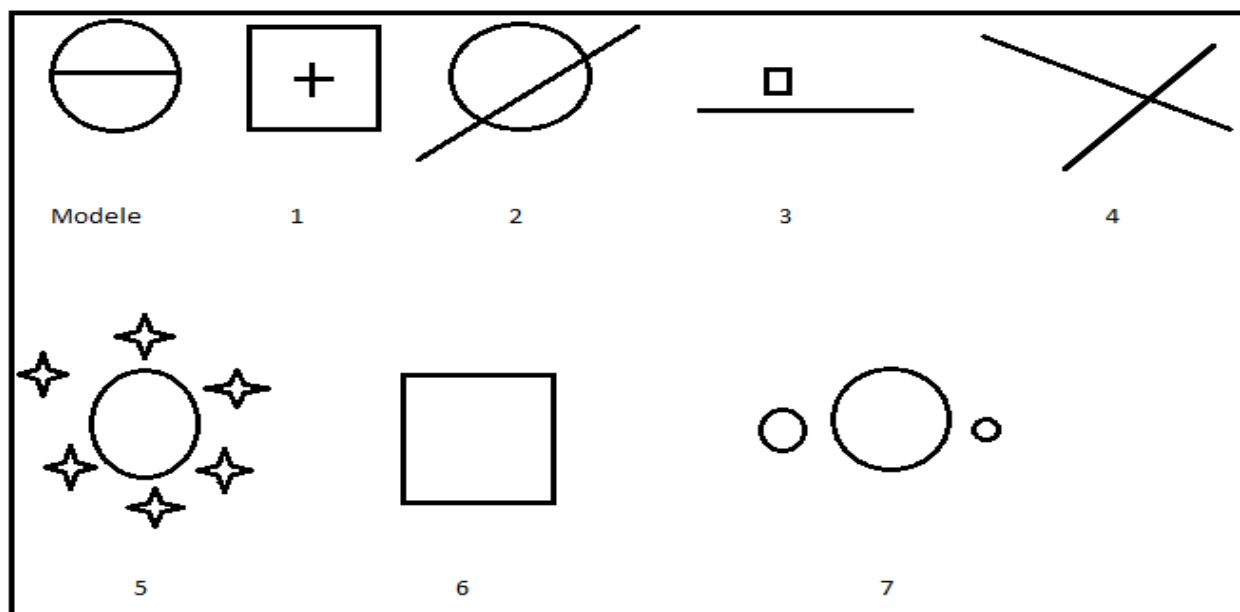




Figure 5.5 : Epreuve du dessin géométrique et l'expression

Objectif : parvenir à exprimer correctement les relations spatiales entre les éléments d'un dessin présenté.

Matériel : un papier pour les dessins – un autre papier de brouillon – crayons.

Déroulement : on partage le premier papier inégalement dans le sens de la longueur de l'examineur. Dans la partie la plus large du côté de l'enfant, il est noté : « écris... ce que je dessine ». Le deuxième verbe « dessine » est placé dans la partie étroite du côté de l'examineur. Un modèle est donné (les verbes sont utilisés à l'infinitif) : un cercle tracé d'abord, puis partagé ensuite ; l'examineur écrit alors devant l'enfant : « dessiner un rond et le partager en deux ».

Il n'est pas nécessaire de donner des explications supplémentaires car supposons que l'enfant ait écrit : dessiner un rond et tracer un trait. En montrant à l'enfant qu'on exécute ce qu'il a écrit, on fait le dessin suivant :  et il voit tout de suite que son expression est imprécise.

Consigne : « tu vas écrire ici la phrase qui correspond au dessin que je vais faire là. Je vais te donner un exemple. Si je dessine  là, alors toi tu vas écrire ici: dessine un rond et partage-le en deux horizontalement...on va commencer ».

5.3.4 L'épreuve de décentration

Objectif : cette épreuve a pour but d'évaluer si l'enfant est capable de se décentrer dans l'espace, habileté essentielle pour l'acquisition de la droite.

Matériel : Une planche sur laquelle on place deux cubes (l'un grand et l'autre petit).

Déroulement : L'enfant doit imaginer qu'il se met à chaque fois d'un côté de la planche et il doit expliquer ce qu'il voit sur cette dernière.

Consigne : « je vais mettre le grand cube ici et le petit cube ici ...qu'est-ce que tu vois sur le papier quand tu es à ta place ?...et si tu te mets ici ?...et ici ?...et ici ? ».

5.3.5 L'épreuve de reproduction de formes

Cette épreuve a été tirée du bilan RV. Nous avons choisi les premiers 4 items qui correspondent à la tranche d'âge que nous avons ciblée dans notre étude.

Objectif : cette épreuve nous permet d'évaluer la perception et la reproduction de formes.

Matériel : un papier sur lequel sont dessinées les 6 formes – un autre papier où l'enfant va dessiner – un crayon.

Déroulement : L'enfant doit reproduire les formes qui lui sont présentées sur un papier tout en lui indiquant à chaque fois la forme à copier.

Consigne : « Regardes ces formes...tu vas essayer de les copier le mieux possible sur ce papier en commençant par là...maintenant celui-là...» (Jusqu'à la fin des items).

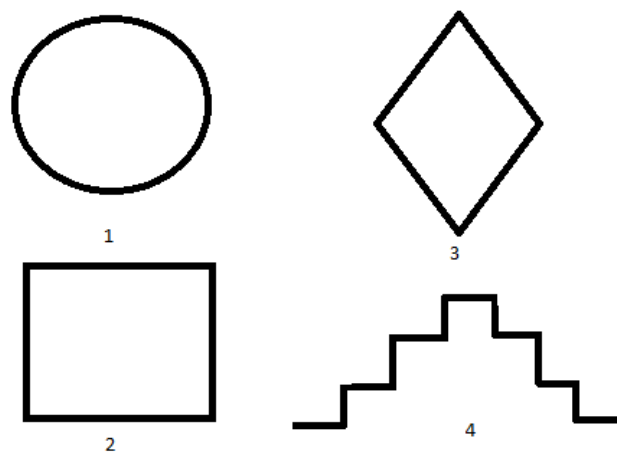


Figure 5.6 : Epreuve de reproduction de formes

5.4 Cotation des résultats

5.4.1 Les épreuves logico-mathématiques

La cotation de ces épreuves a été faite selon la méthode clinico-critique de Piaget. Celle-ci respecte la conversation avec l'enfant : l'examineur effectue une discussion libre sur la situation-problème qui est concrétisée par le matériel approprié suivant chaque situation. Nous nous sommes alors basées sur les réponses de l'enfant ainsi que sur le développement des différentes notions. Ceci nous a permis de classer les résultats en trois types : échec, intermédiaire et réussite.

Cette classification nous a facilité l'observation des différences entre les enfants pour établir une comparaison plus claires entre les échantillons E1 et E2. Nous allons présenter en détail les critères de classement des résultats des différentes épreuves.

- ✓ La classification :
 - Réussite : l'enfant classe selon les trois critères et arrive à nommer les classes.
 - Réussite avec amorce : l'enfant classe selon les trois critères et arrive à nommer les classes mais le troisième critère n'est effectué qu'après amorce.
 - Intermédiaire : l'enfant classe selon deux critères et nommer les classes correspondantes.
 - Intermédiaire avec amorce : l'enfant classe selon deux critères et arrive à nommer les classes mais le deuxième critère n'est effectué qu'après amorce.
 - Echec : l'enfant fait un seul classement ou effectue des collections ou des objets complexes

- ✓ La sériation :
 - Réussite : l'enfant effectue correctement les cinq situations avec justification du cas impossible.
 - Intermédiaire : l'enfant effectue correctement les quatre premières situations et ne réussit pas le cas impossible.
 - Echec : l'enfant réussit seulement les deux premières situations.

- ✓ La conservation :
 - Réussite : l'enfant répond par la conservation tout en montrant une construction de la réversibilité en utilisant deux parmi quatre justifications. (Par identité : « c'est toujours la même chose » – par opérativité : « tu n'as

rien ajouté rien enlevé » – par réversibilité : « juste avant c'était comme ça » – par compensation « c plus court ici mais plus long là ».

- Intermédiaire : l'enfant répond par la conservation mais il est dans la réversibilité, il a besoin de retourner à l'état initial à travers l'action. Il fait une réflexion sur les transformations mais il est toujours influencé par les apparences physiques surtout quand les modifications sont importantes. Par exemple, le fil écarté latéralement est considéré pareil à l'état initial mais pas le fil transformé en serpent parce que cette transformation est plus importante au niveau perceptif.
 - Echec : l'enfant répond par la non conservation. Sa réponse est liée juste à la perception sans recours à l'analyse de la transformation. Les réponses sont de type « ce n'est pas pareil car ici ça déborde donc c'est plus long ».
- ✓ Le concept des opérations :
- Réussite : l'enfant peut montrer avec le matériel une situation d'addition et une situation de soustraction. Nous avons décidé d'accepter l'amorce à ce niveau. (c.à.d. pour l'addition par exemple, il prend 7 jetons puis y ajoute 4 jetons et il aura alors 11 jetons comme résultat).
 - Réussite avec amorce : l'enfant arrive à montrer correctement les deux situations en lui donnant une amorce.
 - Echec : l'enfant n'arrive à montrer correctement aucune des deux situations. (par exemple, il dessine l'opération avec les jetons comme quand on l'écrit sur le papier).
- ✓ La numération
- Réussite : l'enfant répond correctement aux deux questions (celle concernant les classes dizaines/unités, et les classes centaines/dizaines/unités).

- Intermédiaire : l'enfant répond correctement uniquement à la première question (celle concernant les classes dizaines/unités).
- Echec : l'enfant échoue les deux questions.

5.4.2. Les épreuves du domaine du raisonnement spatial

Pour ce domaine, nous avons considéré le nombre de réponses correctes pour chaque tâche des épreuves spatiales. Donc nous avons attribué un point pour un item en cas de réussite et zéro point en cas d'échec. Le total des résultats est ramené à cent. Par la suite, on a calculé la moyenne de réussite et les valeurs minimale et maximale pour chaque tâche. Une comparaison des résultats des enfants dyscalculiques a été alors faite par rapport à ceux du groupe contrôle.

Nous avons analysé aussi les résultats de façon qualitative afin d'interpréter les types d'erreurs ainsi que les différents comportements et fonctionnements observés chez les enfants.

- ✓ L'espace topologique

Cette épreuve est composée de deux situations questions. Un point sera attribué à chaque situation en cas de réussite et zéro point en cas d'échec.

- ✓ L'espace euclidien

Dans cette épreuve, nous avons précisé les éléments de la figure en numérotant les lignes ciblées (voir figure 5.6). Nous ajoutons également comme éléments : chacun des trois petits ronds, et chacune des 5 lignes consécutives dans le triangle à droite de la page. Nous considérons juste la situation de dessin sans support où la feuille est cachée (la situation de copie étant pour la familiarisation avec la figure).

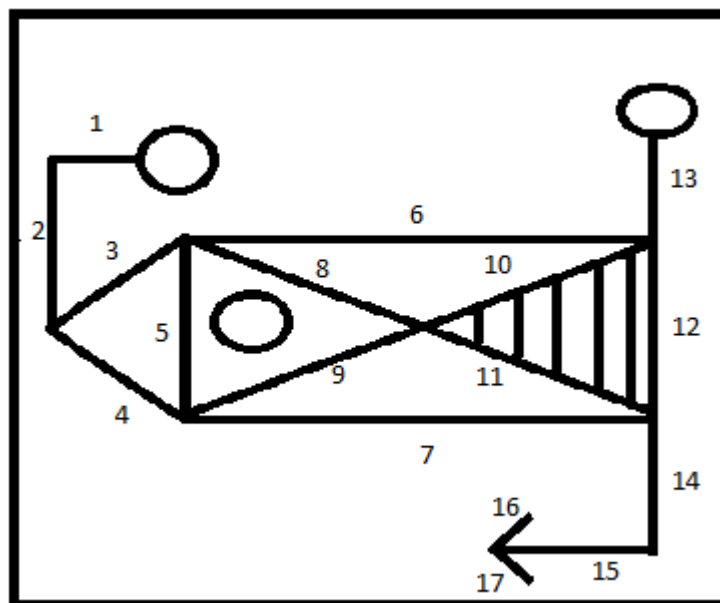


Figure 5.7 : Numérotation des lignes de l'épreuve de l'espace euclidien

Un point sera attribué à chaque élément reproduit en respectant sa dimension et zéro point à celui échoué.

✓ Le dessin géométrique et l'expression

Un point sera attribué pour chaque item réussi et zéro point pour l'item échoué.

✓ La décentration

Dans cette épreuve, nous avons considéré seulement deux cas : l'enfant réussit l'épreuve en répond correctement aux quatre questions et aura un point. Si non, on lui attribuera zéro point.

✓ La reproduction de formes

On attribue un point pour chaque forme reproduite correctement et zéro point pour chaque forme échouée.

Comme nous avons expliqué dans ce chapitre les épreuves du bilan et leurs cotations, nous présenterons par la suite l'analyse des résultats.

Chapitre 6

L'ANALYSE DES RESULTATS

Dans ce chapitre, nous allons analyser les résultats obtenus dans chaque épreuve des deux domaines logico-mathématique et du raisonnement spatial. Ainsi, le but de cette analyse est de situer l'enfant dyscalculique dans ses capacités au niveau de la pensée spatiale par rapport à la norme ainsi que de les analyser et d'étudier leurs spécificités quant à celles des enfants de son âge.

6.1 Résultats des épreuves logico-mathématiques

Le tableau 6.1 représente les résultats récapitulatifs des vingt enfants de l'échantillon Dys dans les tâches logico-mathématiques. Tous ces enfants n'ont pas réussi les épreuves dans ce domaine. Ceci ne correspond pas à leur âge en les comparant aux résultats des enfants du groupe contrôle dans le tableau 6.2 qui, par contre, ont réussi toute cette partie.

En effet, les enfants Dys ont présenté un échec ou un niveau intermédiaire (que ce soit avec amorce ou pas, en relation avec l'épreuve) dans les opérations de classification, de sériation, de conservation, du concept des opérations et de la numération.

Nous allons par la suite détailler les résultats de chaque épreuve de façon quantitative et qualitative en essayant de présenter les comportements spécifiques des enfants dyscalculiques par rapport au groupe contrôle.

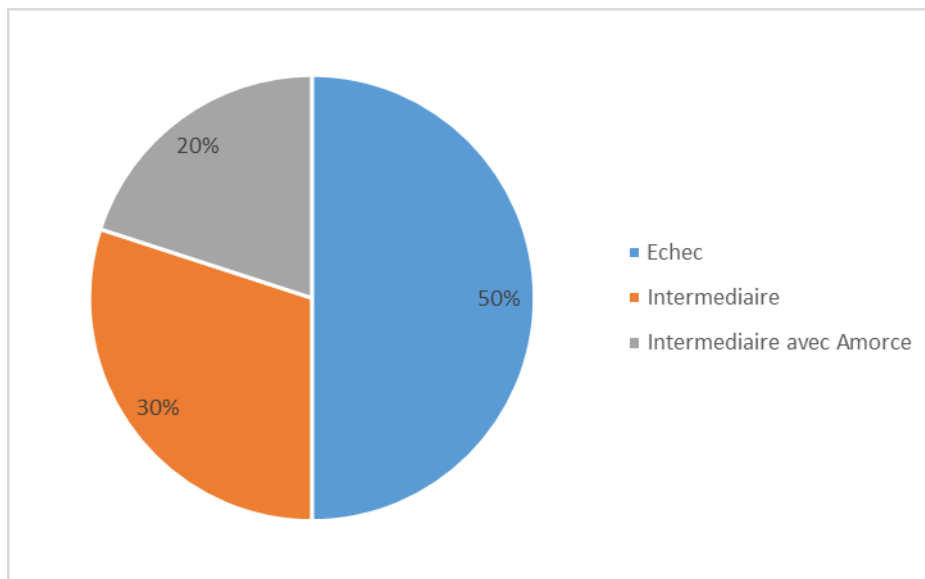
Tableau 6.1 : Les résultats de Dys aux épreuves logico-mathématiques

Niveaux	Epreuves	Classification	Sérialion	Conservation	Concept des Operations	Numération
	Echec		10 enfants	20 enfants	17 enfants	20 enfants
Intermédiaire		10 enfants (4 avec amorce)	0 enfant	3 enfants	0 enfant	5 enfants

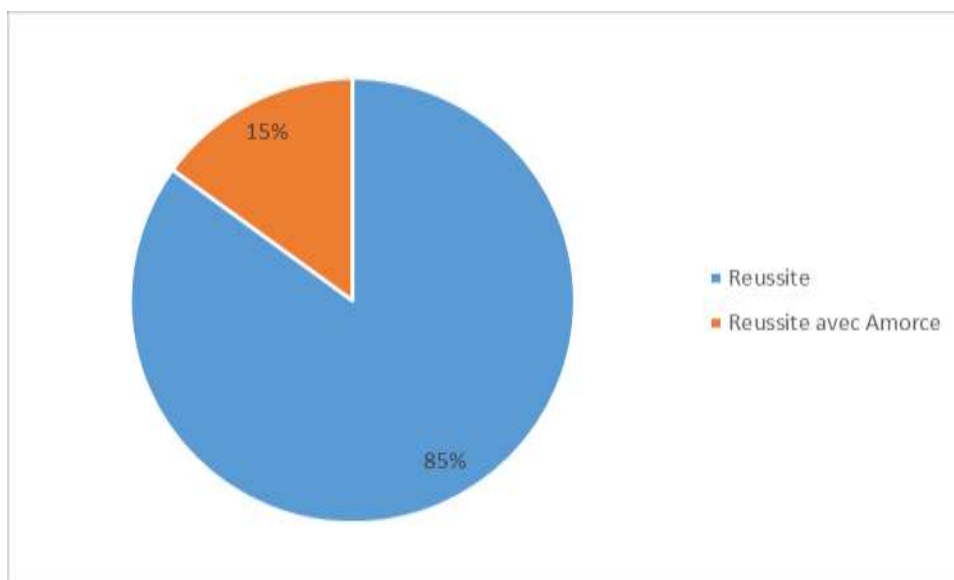
Tableau 6.2 : Les résultats du groupe contrôle aux épreuves logico-mathématiques

Niveaux	Epreuves	Classification	Sérialion	Conservation	Concept des Operations	Numération
	Réussite		60 enfants (9 avec amorce)	55 enfants	54 enfants	60 enfants (24 avec amorce)
Intermédiaire		0 enfant	5 enfants	6 enfants	0 enfant	0 enfant

6.1.1 Résultats de l'épreuve de classification :



Graph 6.1 : Les résultats de l'épreuve de classification de Dys



Graph 6.2 : Les résultats de l'épreuve de classification du groupe contrôle

Pour l'échantillon Dys, tous les enfants n'ont pas réussi la classification : 50% des enfants ont pu faire un seul classement (l'amorce n'a pas aidé à ce niveau pour un deuxième classement), 20% des enfants ont réussi deux classements et 30% ont eu besoin d'amorce pour le deuxième classement. Ce fonctionnement montre un niveau non opératoire de classification.

ANAL QUALITATIVE

Ceci montre également un manque de flexibilité de la pensée qui se traduit par des difficultés à changer le critère commun de classes en faisant abstraction des autres critères. Par exemple, si l'enfant classe par couleur, il a des difficultés à se détacher de ce critère pour faire une autre classification qui consistera à abstraire de nouveau deux critères différents comme la taille et la couleur pour classer différemment donc selon la forme.

De même, ceci a besoin de pouvoir coordonner ensemble les trois critères (couleur, forme, et taille) pour faire appel à l'un en l'absence des deux autres en prenant en compte toutes les possibilités présentes. Autrement dit, l'enfant doit faire appel à la couleur et négliger la forme et la taille, puis faire appel à la forme et négliger la couleur et la taille et ainsi de suite.

D'autre part, les enfants n'ont pas pu extraire un nouveau critère commun dans le cas de l'amorce. En effet, les enfants répétaient toujours un classement déjà fait quand ils ne trouvent plus d'autres façons d'organiser les éléments présentés.

De plus, ces enfants ont eu des difficultés à récapituler leurs classements en fin de tâche, ceci montre un défaut de mentalisation : incapacité de verbaliser leurs actions en cas d'absence du matériel concret.

Par contre, pour le groupe contrôle, 85% des enfants ont réussi la tâche et 15% ont réussi cette dernière avec amorce pour le troisième critère. Ceci permet de qualifier leur pensée du niveau opératoire.

En effet, même les 15% ont directement reconnu le troisième critère dès la mise en place de l'amorce (dès que l'examineur a placé 3 cartes de même critère dans la boîte). Ceci est lié à la flexibilité de leur pensée qui leur permet de changer aisément la façon de classer les éléments.

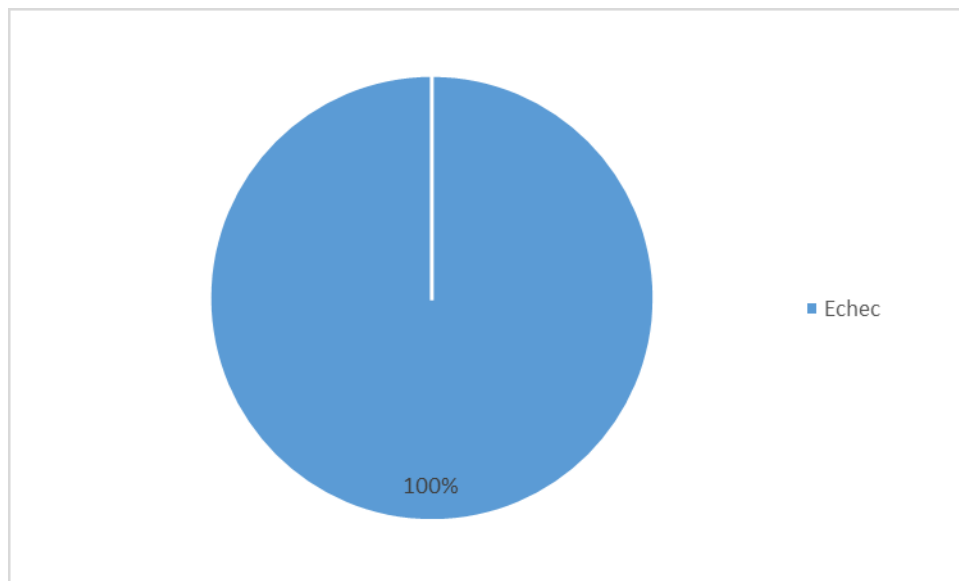
Il est important de noter que les enfants de ce groupe ont montré aussi une reconnaissance directe du critère à changer, ce qui a abouti à une rapidité notable dans l'exécution de la tâche en comparaison avec les enfants Dys qui ont pris beaucoup plus de temps à trouver les autres critères.

Nous citerons dans le tableau ci-dessous la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de classification qui nous permet de faire la comparaison entre les deux de façon générale.

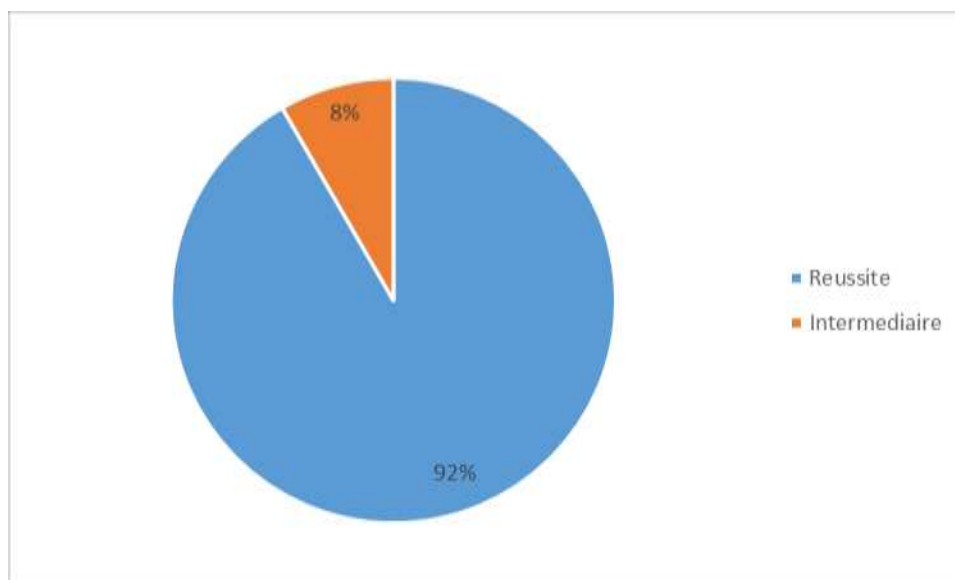
Tableau 6.3 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Classification

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Classification réussie	×
✓	Niveau opératoire	×
✓	Flexibilité de la pensée	×
✓	Abstraction des critères pour dégager un critère commun	×
✓	Détachement du critère déjà classé	×
✓	Coordination des différents critères	×
✓	Mentalisation des classements exécutés	×

6.1.2 Résultats de l'épreuve de Sériation



Graph 6.3 : Les résultats de l'épreuve de sériation de Dys



Graph 6.4 : Les résultats de l'épreuve de sériation du groupe contrôle

D'après les graphes 6.3 et 6.4, il y a un échec à 100% pour les enfants Dys avec une réussite de 92% du groupe contrôle. Ceci correspond de même à un niveau de pensée non opératoire pareillement à l'épreuve de classification.

A noter que chacune des consignes simples (dans les deux premières questions) a été très bien réussie puisqu'elle ne fait pas appel à la coordination.

D'autre part, cette notion d'être à la fois « plus grand que et plus petit que » fait appel au double regard ou à la double relation qui se pose sur un même élément. Ceci requiert également de la flexibilité de la pensée en considérant cet élément, or cette habileté est déficitaire chez Dys.

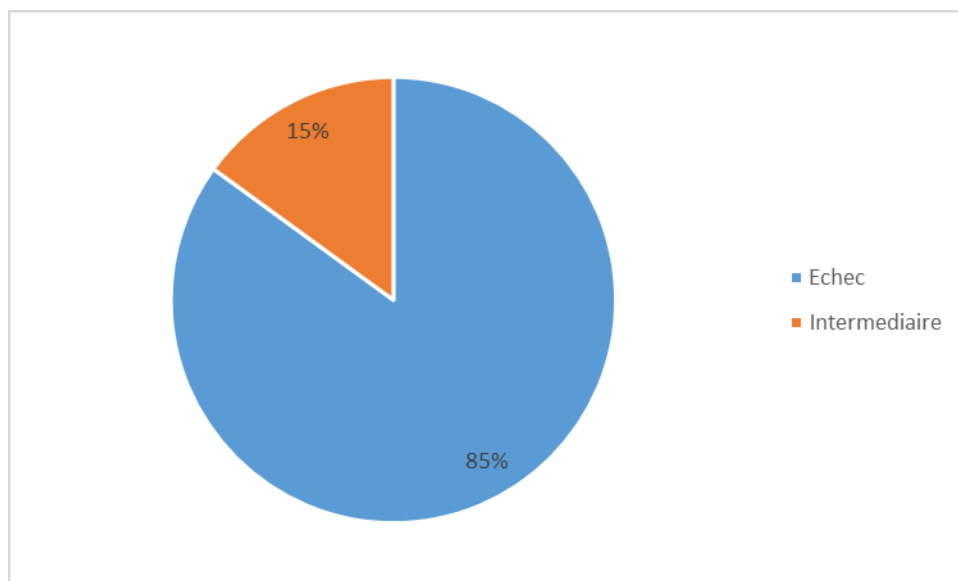
La dernière question qui est le cas impossible n'a pas été réussie par 8% du groupe contrôle, ceci est expliqué par le fait que certains enfants résistent à l'impossible et ont besoin d'avoir toujours des réponses aux questions posées. Mise à part le cas impossible, les enfants du groupe contrôle ont montré une réussite directe sans hésitation à toutes les autres questions présentant ainsi une capacité à coordonner plusieurs critères encore une fois pareillement à la tâche de classification.

De même, le tableau ci-dessous révèle la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de sériation.

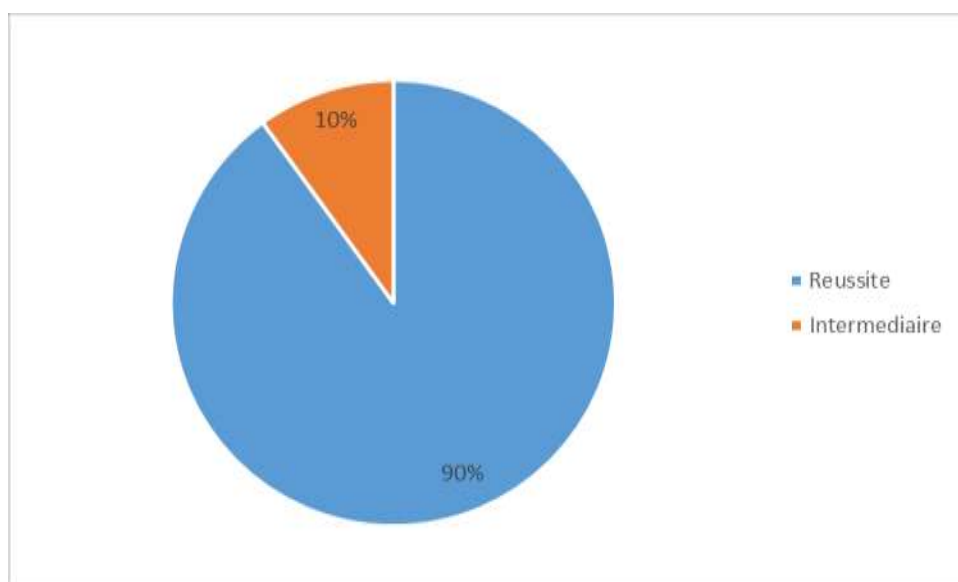
Tableau 6.4 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Sériation

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Sériation réussie	×
✓	Niveau opératoire	×
✓	Coordination de plusieurs éléments	×
✓	Concevoir une double relation entre les éléments	×
✓	Flexibilité de la pensée	×

6.1.3 Résultats de l'épreuve de Conservation



Graphe 6.5 : Les résultats de l'épreuve de conservation de Dys



Graphe 6.6 : Les résultats de l'épreuve de conservation du groupe contrôle

Le graphe 6.5 révèle 70% d'échec dans cette épreuve avec 30% d'un niveau intermédiaire montrant un mode de pensée non opératoire aussi.

En effet, les enfants se sont basés sur l'aspect figuratif de l'objet pour juger la non-conservation (« pas de conservation puisque celle-ci déborde et l'autre non »). Donc leur pensée est influencée par l'aspect concret plus que par l'aspect abstrait qui leur pose déjà une difficulté par défaut d'abstraction.

D'autre part, il s'agit dans la conservation de faire un retour dans la pensée (la réversibilité) pour trouver l'état initial et juger l'invariance de l'objet. En fait, pour avoir une pensée réversible, il faut avoir une pensée mobile qui fait un retour en arrière, ce qui est déficitaire chez les enfants dyscalculiques.

En nous basant sur le graphe 6.6, nous pouvons conclure que les enfants du groupe contrôle présentent un niveau opératoire dans la notion de conservation puisqu'elle était réussie chez 90%. Seuls 10% avaient besoin de passer par l'action (en comparant concrètement les ficelles) mais ceci était présent pour la première transformation et ils ont pu donner par la suite toutes les justifications nécessaires qui montrent la réversibilité de la pensée.

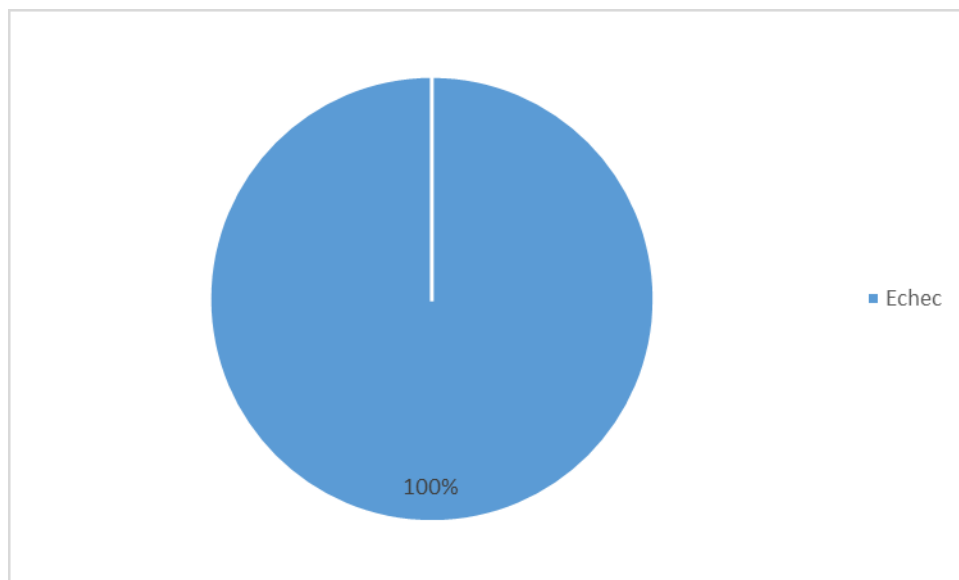
Il est important de signaler que la conservation des longueurs constitue un prérequis essentiel pour l'acquisition de la notion de droite et de la conservation des distances. Donc nous pouvons déduire que les enfants Dys n'ont pas encore acquis ce prérequis. Pareillement, la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de conservation sera présentée dans le tableau suivant.

Tableau 6.5 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de Conservation

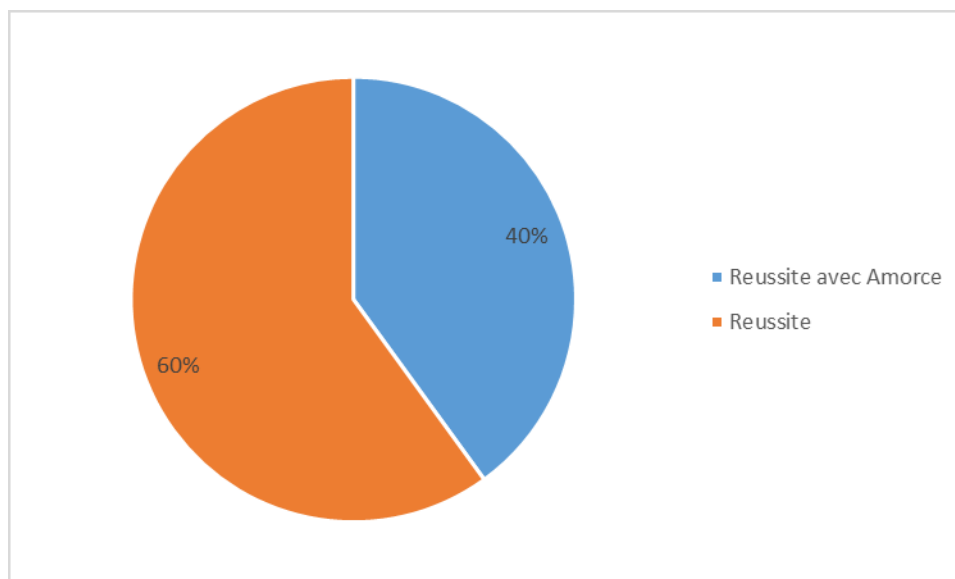
Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Conservation réussie	×
✓	Niveau opératoire	×
✓	Réversibilité de la pensée	×
✓	Flexibilité de la pensée	×
✓	Passage concret/abstrait	×

✓	Prérequis de la notion de droite et de conservation de la distance	×
---	--	---

6.1.4 Résultats de l'épreuve du Concept des Opérations



Graphique 6.7 : Les résultats de l'épreuve du concept des opérations de Dys



Graphique 6.8 : Les résultats de l'épreuve du concept des opérations du groupe contrôle

En se basant sur le graphe 6.7, les enfants Dys montrent un échec total dans cette épreuve même avec amorce et donc on peut dire que le sens des opérations n'est pas acquis.

Par exemple, l'enfant dessine l'équation de $5+3=8$ au lieu de la concrétiser avec le matériel. Il explique par la suite en comptant sur les doigts pour montrer la réponse. On lui demande alors de faire pareil comme avec les doigts mais en utilisant les jetons. Aucun des enfants ne pouvait accomplir cette tâche par manque de flexibilité de la pensée (faire pareil sur un autre matériel), par la suite de faire un « va et vient » du concret à l'abstrait et vice-versa.

En revanche, le graphe 6.8 montre la réussite après amorce de 40% des enfants du groupe contrôle. Les enfants peuvent aisément se justifier à travers le matériel et même de le généraliser tout de suite en faisant l'opération de soustraction et celle-ci sans amorce.

En effet, l'incapacité à montrer l'opération concrètement et la tendance à dessiner directement l'équation est liée à la rigidité du système scolaire (qui demeure en lien avec des tâches écrites plus que des tâches concrètes). La différence c'est qu'un enfant dyscalculique a des difficultés à se détacher d'un matériel ou d'une situation apprise pour généraliser à un autre matériel ou une autre situation.

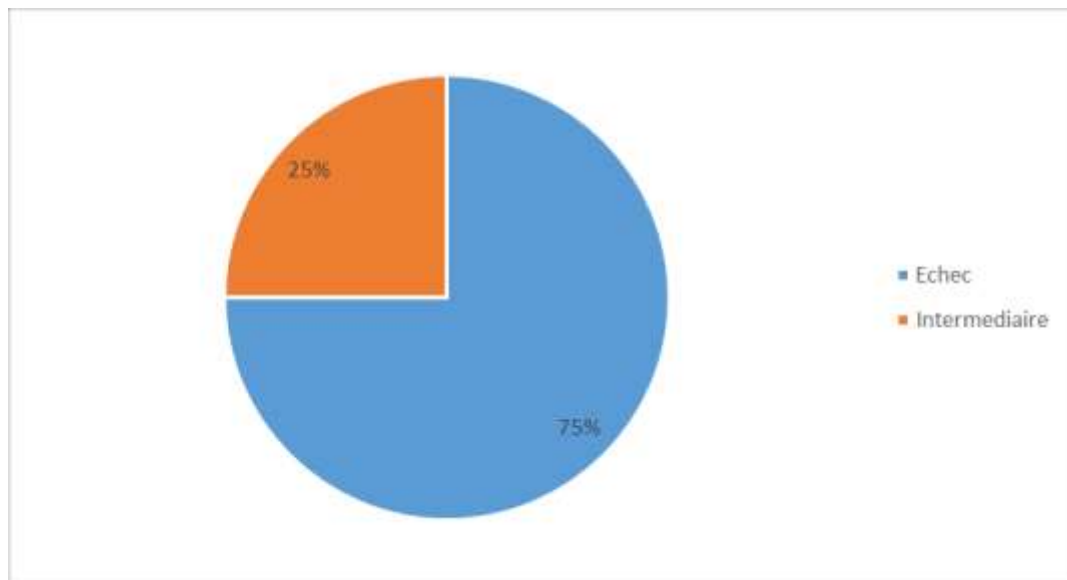
Voici le tableau 6.6 qui présente la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve du concept des opérations.

Tableau 6.6 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve du Concept des Operations

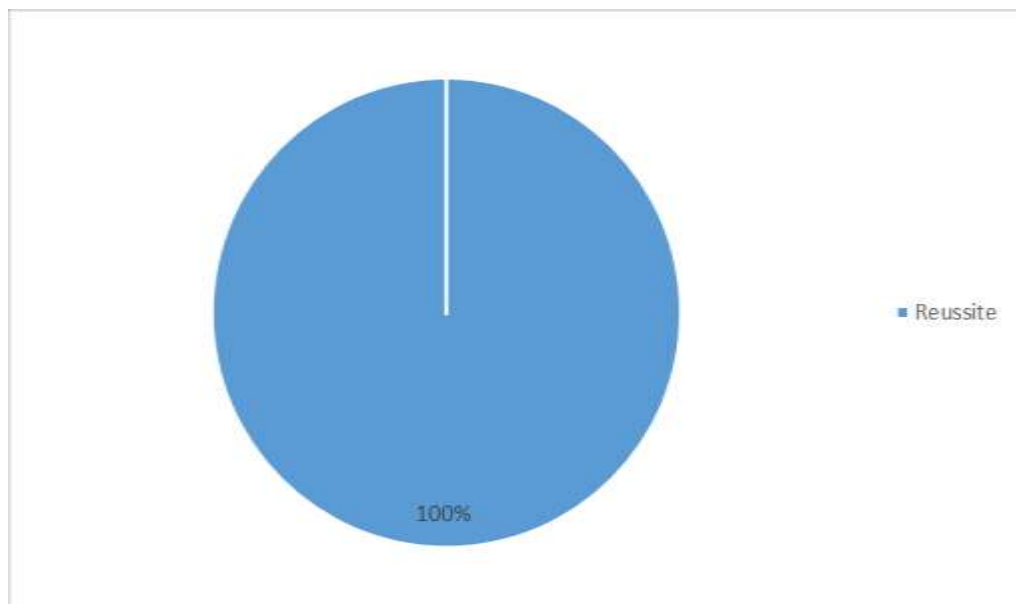
Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Concept des opérations acquis	×
✓	Détachement de l'apprentissage scolaire	×
✓	Passage Concret/Abstrait	×

✓	Flexibilité de la pensée	×
✓	Généralisation de notion	×

6.1.5 Résultats de l'épreuve de Numération



Graphique 6.9 : Les résultats de l'épreuve de numération de Dys



Graphique 6.10 : Les résultats de l'épreuve de numération du groupe contrôle

Dans cette épreuve, nous notons un échec de 75% dans le graphe 6.9 avec un niveau intermédiaire de 25%, ce qui veut dire que la notion de numération n'est pas acquise.

En effet, les 25% ont pu répondre à la question évaluant les classes de dizaine /unités sans pouvoir généraliser aux classes de centaines. Les 75% avaient toujours besoin de compter les unités dans le paquet de dizaines, donc ils avaient besoin du support concret pour accéder à une classe supérieure. Ceci est lié à des difficultés d'abstraction au niveau des grandes classes.

En plus, si on va analyser avec plus de précision, la question posée relève d'une tâche qui va dans l'autre sens que celle du départ. (Au début, nous avons construit le paquet en attachant les allumettes, et puis nous avons posé la question dans le sens du détachement des allumettes : « si on les détache, combien tu auras en tout »). Nous pouvons alors conclure encore une fois l'incapacité des enfants Dys à faire ce parcours de l'autre sens par manque de flexibilité de la pensée.

D'autre part, le graphe 6.10 montre une réussite totale aux questions de numération assurant une acquisition de cette notion et une flexibilité assurant une construction des petites et grandes classes dans tous les sens.

Nous exposerons dans le tableau 6.7 la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de numération.

Tableau 6.7 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de numération

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Numération acquise	×
✓	Généralisation de notion	×
✓	Passage concret/abstrait	×
✓	Flexibilité de la pensée	×

6.2 Résultats du domaine du raisonnement spatial

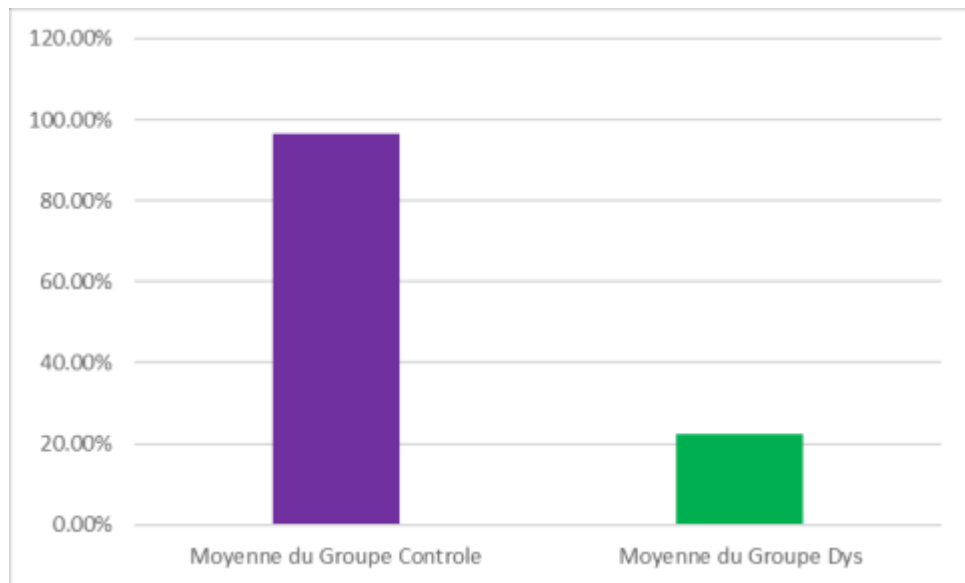
Nous présentons, dans le tableau 6.8, la moyenne obtenue lors de la validation des tâches du domaine spatial auprès du groupe contrôle ainsi que celle du groupe Dys. Nous avons aussi présenté les valeurs minimale et maximale obtenues dans les épreuves et comparé les résultats de Dys à ces normes. Nous avons également analysé les résultats obtenus de façon qualitative.

Généralement, nous pouvons remarquer, dans le même tableau, un grand écart entre les moyennes de toutes les épreuves du groupe Dys et celui du groupe contrôle qui représente la norme à l'exception de l'épreuve de reproduction de formes qui montre une moyenne pareille à celle de la normalité.

Tableau 6.8 : Les résultats de l'échantillon Dys dans les épreuves du domaine de l'espace

Niveaux	Epreuves	Espace topologique	Espace Euclidien	Dessin géométrique et expression	Décentration	Reproduction de formes
Moyenne du Groupe Contrôle		96.66 %	80.2 %	98.33 %	96.66 %	99.16 %
Min – Max du Groupe Contrôle		0 – 2	18 – 24	5 - 7	0 - 1	5 - 6
Moyenne du Groupe Dys		22.5 %	49.2 %	5 %	0 %	98.88 %
Min – Max du Groupe Dys		0 – 2	6 – 20	0 – 2	0 – 0	0 – 6

6.2.1 Résultats de l'épreuve de l'espace topologique



Graphe 6.11 : Les moyennes de l'épreuve de l'espace topologique du groupe contrôle et du groupe Dys

L'analyse quantitative du graphe 6.11 permet de prouver une différence significative dans les moyennes obtenues par les deux groupes. Ceci se conclue par un décalage objectif dans la notion de l'organisation topologique chez le groupe Dys par rapport à la norme donc un déficit à ce niveau.

Pour l'analyse qualitative, les enfants Dys n'ont pas réussi à représenter les relations de voisinage et de frontière. La plupart des enfants ont totalement échoué les deux parties. En effet, ils n'ont pas pu représenter par des tracés les relations mises en jeu dans le test. Leur dessin correspondait le plus souvent à un tiret séparant le loup des moutons présents dans l'épreuve. Ce qui est intéressant est que ces enfants étaient parfaitement capables d'exprimer les relations de (à côté de, dedans et dehors) dans leurs dessins.

Par conséquent, ils montrent des difficultés quand il s'agit de représenter une relation autre que concrètement (ici par le symbole du dessin). De plus, les enfants Dys étaient incapables de prendre en considération ces relations de voisinage et de frontière de tous les côtés du papier. Ce qui fait rappel au défaut d'abstraction et de la flexibilité de la pensée.

D'autre part, certains enfants, qui ont passé la première partie, ont échoué la deuxième : par exemple, soit ils ont entouré de part et d'autre les moutons laissant le loup au milieu, soit ils ont entouré le loup tout seul. En effet, cette dernière est plus complexe et fait appel à la coordination entre la cible (le loup) et l'ensemble des autres éléments (tous les moutons). De plus, elle nécessite un niveau d'anticipation plus élevé puisque la cible se trouve au milieu du dessin.

Signalons que 2 enfants de ce groupe ont réussi cette épreuve. Ceci pourrait être expliqué que théoriquement l'espace topologique s'achève à cet âge en début de stage opératoire. Il sera peut être intéressant de leur passer des épreuves plus complexes à ce niveau dans quelques temps.

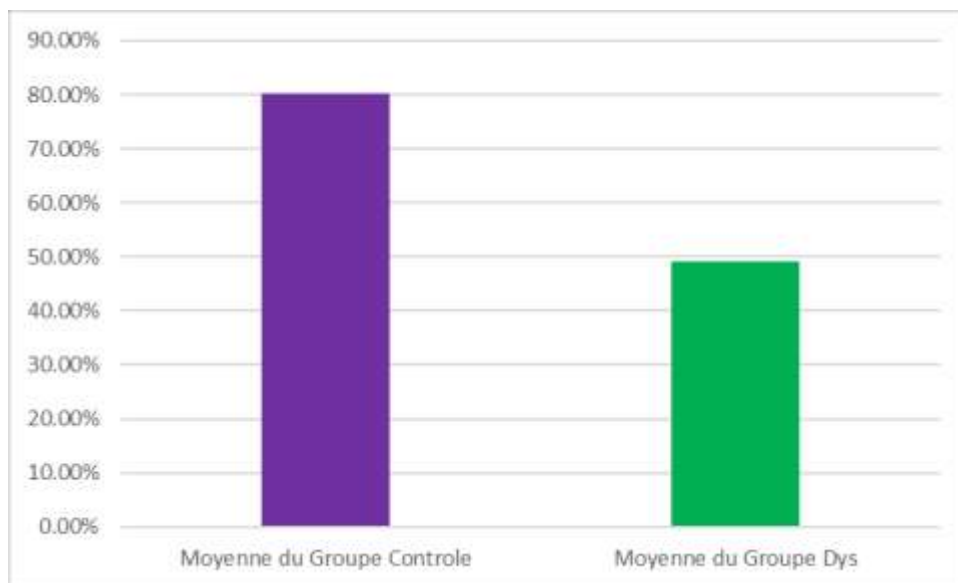
En résumé, le groupe contrôle a montré une réussite de cette épreuve avec une moyenne de 97% environ. Ceci nous permet de dire que l'organisation topologique est construite à ce stade.

Nous exposerons dans le tableau 6.9 la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de l'espace topologique.

Tableau 6.9 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de l'espace topologique

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Organisation topologique acquise	×
✓	Abstraction et représentation symbolique des relations	×
✓	Flexibilité de la pensée	×
✓	Anticipation	×
✓	Coordination entre les éléments	×

6.2.2 Résultats de l'épreuve de l'espace euclidien



Graphe 6.12 : Les moyennes de l'épreuve de l'espace euclidien du groupe contrôle et de Dys

L'analyse quantitative du groupe Dys présenté dans le graphe 6.11 montre une moyenne inférieure à celle de la norme. Cependant, l'hétérogénéité des résultats obtenus dans cette épreuve nous a obligées d'examiner plus précisément les notes obtenues.

Nous avons trouvé alors 15% des cas ayant un score de 20, ce qui se situe dans la norme du groupe contrôle. Par contre, les autres 85% des cas ont eu un score au-dessous de 18 qui est la valeur minimale obtenue par le groupe contrôle. Nous pouvons conclure alors des difficultés dans l'organisation euclidienne menant à un retard d'acquisition dans ce domaine.

D'après l'analyse qualitative, et dans le groupe Dys, les dimensions des éléments de la figure ont été mal respectées (soit plus grandes, soit plus petites). Ceci nous permet de dire que la représentation mentale au niveau du raisonnement spatial est déficitaire. Par exemple, les ronds ou les droites sont dessinés grands par rapport à la figure globale. Ce qui nous mène à déduire que les enfants ont des difficultés à coordonner les dimensions des différents éléments entre eux.

En plus, ils ne pouvaient pas anticiper ces proportions comme par exemple si on va représenter les lignes avec un grand caractère on n'aura plus d'espace pour les autres éléments de la figure.

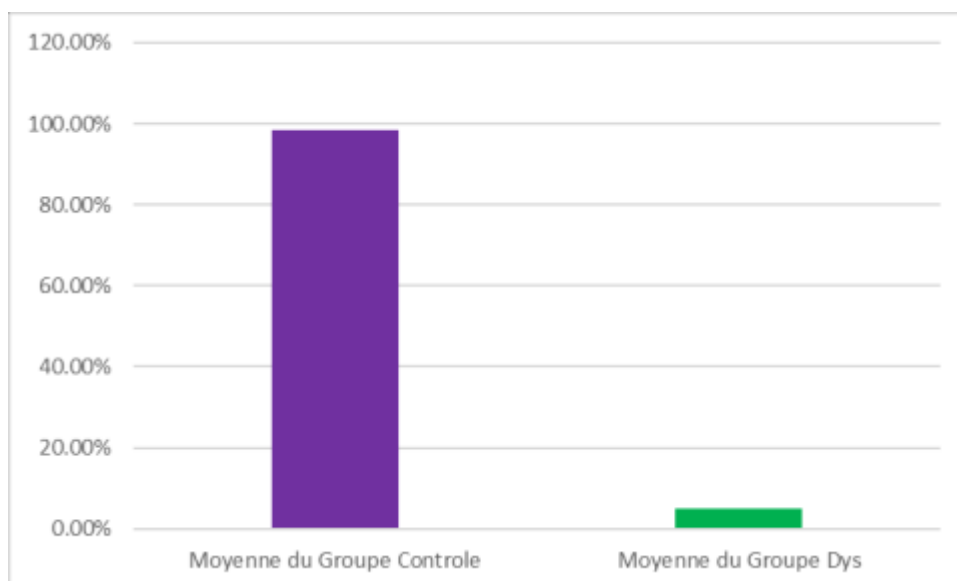
Il est important de mentionner que les résultats hétérogènes obtenus dans cette épreuve peuvent être dus à ce que l'organisation euclidienne apparait en début de ce stade. Malgré cela, le groupe Dys semble être loin de la normalité dans ce domaine.

Le tableau 6.10 représente la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de l'espace euclidien.

Tableau 6.10 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de l'espace euclidien

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Organisation euclidienne acquise	×
✓	Représentation mentale du raisonnement spatial	×
✓	Coordination entre les éléments de la figure	×
✓	Anticipation	×

6.2.3 Résultats de l'épreuve du dessin géométrique et expression



Graphe 6.13 : Les moyennes de l'épreuve du dessin géométrique et expression du groupe contrôle et du groupe Dys

Le graphe 6.13 illustre que la moyenne remportée par Dys montre que celle-ci est énormément inférieure à celle de la norme. Ceci justifie objectivement et quantitativement l'existence d'un déficit dans ce domaine.

Selon notre analyse qualitative, la majorité des enfants du groupe Dys ont rencontré des difficultés dans tous les items. Ainsi, ils n'ont pas pu représenter par le langage les relations entre les éléments de chaque figure présentée. En effet, le langage ou l'expression se manifeste comme étant l'aspect le plus révélateur de décalage d'une notion.

Nous notons surtout :

- Pour l'item 1, absence du terme « au milieu ».
- Pour l'item 2 et 4, absence du terme « qui passe par » ou « traverse » avec confusion avec le terme « dans ».
- Pour l'item 3, absence des mots « de, du » dans les expressions « en haut de, au-dessus-de ».
- Pour l'item 5, absence des termes « tout autour, qui entoure ».
- Pour l'item 6, absence du terme « chaque ».
- Pour l'item 7, absence de termes qui marquent la différence entre les ronds.

Par conclusion, nous remarquons l'absence de termes qui marquent la coordination ainsi que ceux qui précisent la nature de la relation entre les éléments de la figure (comme au-dessus de – dans chaque côté...).

De plus, ce qui est intéressant c'est que, lors de la passation de l'épreuve en compréhension, ils n'avaient pas de problème. Donc nous pouvons alors conclure qu'il s'agit encore une fois de difficultés à représenter les relations spatiales à travers un moyen abstrait (ici le langage).

Ajoutons que nous avons donné des aides dans les deux premiers items (autre que le modèle) pour les deux groupes testés. Nous avons alors dessiné la figure proposée par la phrase des enfants afin de leur montrer qu'elle ne correspond pas au même dessin. Nous avons noté que les enfants du groupe contrôle ont aisément pu continuer l'épreuve sans aucune nouvelle facilitation.

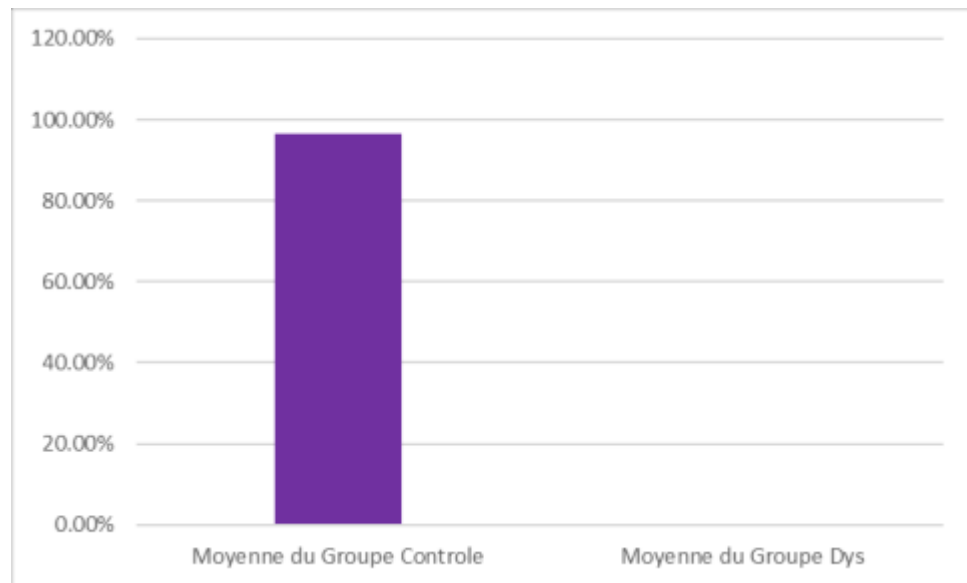
Cependant, les enfants Dys, et même si l'aide était offerte à chaque fois, ne pouvaient pas réajuster leurs phrases de façon qu'elles représentent convenablement la figure cible. Ce qui rappelle la rigidité au niveau de la pensée.

Le tableau 6.11 illustre la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve du dessin géométrique et expression.

Tableau 6.11 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve du dessin géométrique et expression

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Expression du dessin géométrique réussie	×
✓	Représentation abstraite par le langage des relations spatiales	×
✓	Expression de la coordination entre les éléments de la figure	×
✓	Flexibilité de la pensée	×

6.2.4 Résultats de l'épreuve de décentration



Graphe 6.14 : Les moyennes de l'épreuve décentration du groupe contrôle et du groupe Dys

Nous pouvons remarquer, d'après le graphe 6.14, que cette épreuve est totalement échouée par le groupe Dys avec une quasi- réussite totale par le groupe contrôle. Ceci prouve que la capacité de décentration est déficitaire chez le groupe Dys de façon objective.

Rappelons que la décentration constitue un facteur important dans la construction de l'organisation projective. Ceci nous mène à déduire que ce type d'espace n'est pas acquis contrairement au groupe contrôle.

En réalité, les enfants Dys n'étaient pas capables de changer leur point de vue dans l'espace pour répondre correctement aux questions demandées. Autrement dit, ils se basent à chaque fois sur leur propre position dans l'espace, ce qui est affecté par leur manque de flexibilité de la pensée.

D'autre part, certains enfants ont demandé la possibilité de changer leurs places réellement afin de trouver la réponse. Ceci prouve leur incapacité à raisonner mentalement dans l'espace et justifie leur besoin de concrétiser les situations spatiales.

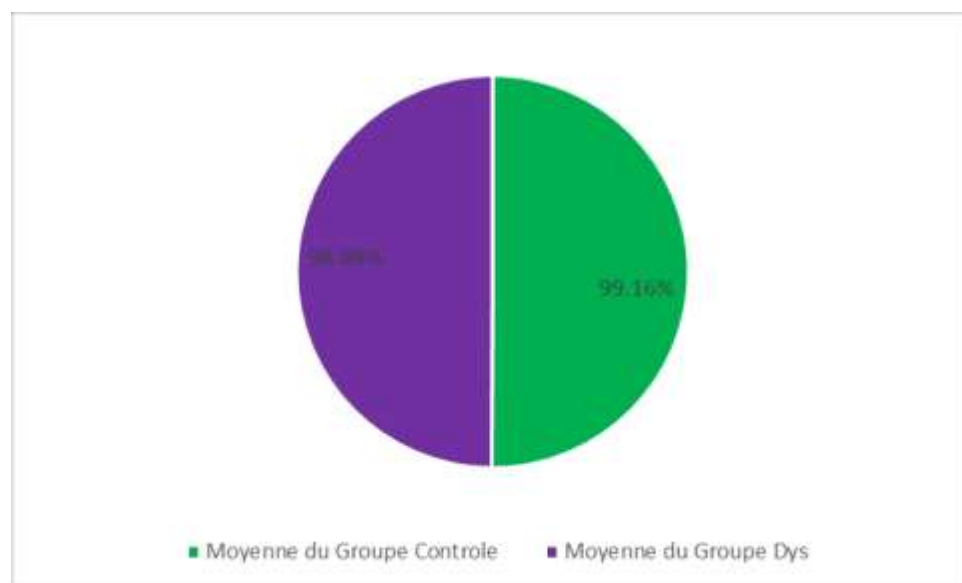
En résumé, les enfants du groupe contrôle ont trouvé les réponses correctes montrant ainsi une bonne capacité de décentration mentale dans l'espace ainsi qu'une acquisition de l'espace projectif.

Nous présentons ci-dessous, dans le tableau 6.12, la synthèse de l'analyse des résultats de Dys et du groupe contrôle dans l'épreuve de décentration.

Tableau 6.12 : Synthèse de l'analyse des résultats dans l'épreuve de décentration

Groupe Contrôle	Synthèse des résultats	Dys
✓	Capacité de décentration	×
✓	Espace projectif construit	×
✓	Représentation mentale du raisonnement spatial	×
✓	Flexibilité de la pensée	×

6.2.5 Résultats de l'épreuve de reproduction de formes



Graphe 6.15 : Les moyennes de l'épreuve de reproduction de formes du groupe contrôle et du groupe Dys

En se basant sur le graphe 6.15 ainsi que sur l'analyse qualitative de cette épreuve, nous pouvons déduire que la reproduction de formes chez le groupe Dys est conforme à la normalité. Rappelons que cette épreuve a été administrée afin de s'assurer qu'il n'existe pas un problème dans la perception ou reconnaissance des formes géométriques correspondantes à notre tranche d'âge en question.

6.3 Synthèse des résultats

D'après l'analyse des résultats, nous pouvons déduire que l'enfant dyscalculique présente un déficit spécifique dans le raisonnement spatial nécessaire à l'apprentissage de la géométrie. De façon quantitative, il montre un échec objectif par rapport à la norme dans la construction de l'organisation topologique, projective, euclidienne et du langage spatial nécessaire au dessin géométrique.

En plus, l'analyse qualitative des résultats, basée sur les erreurs commises par les enfants dyscalculiques, démontre qu'il s'agit d'un dysfonctionnement sous-jacent durant l'exécution des tâches spatiales testées. Ce dysfonctionnement se résume par des difficultés dans l'accès à une pensée spatiale de niveau opératoire, la flexibilité de la pensée, la coordination des relations, le passage à un raisonnement mental plus abstrait ainsi que dans l'anticipation.

Finalement, et après avoir présenté l'analyse des résultats, nous exposerons la discussion dans le chapitre qui suit.

Chapitre 7

DISCUSSION

Nous allons discuter dans ce chapitre le lien entre les résultats obtenus dans la partie pratique avec les données théoriques. En plus, nous allons exposer les apports de notre étude ainsi que les limites et les perspectives.

7.1 Liens entre la pratique et la théorie

Bien que les données théoriques touchant la pensée spatiale spécifique à la géométrie dans le cas de la dyscalculie soient pauvres, nous pouvons quand même dégager quelques similarités obtenues avec les résultats de notre étude.

En premier lieu, nous avons trouvé un déficit dans l'intelligence spatiale chez l'enfant dyscalculique démontrant ainsi ce que nous avons mentionné en théorie concernant les faibles capacités spatiales chez l'enfant dyscalculique mais qui étaient peu précises.

En second lieu, l'évaluation a mis en évidence que l'échec se trouve au niveau des habiletés spatiales nécessaires à l'acquisition des notions géométriques auprès des enfants dyscalculiques. Ceci prouve encore une fois l'intime relation entre géométrie et raisonnement spatial que nous avons élaborée dans la partie théorique.

De plus, les résultats pratiques ont justifié une faible organisation spatiale à plusieurs niveaux (topologique, projective et euclidienne). Or nous avons mentionné théoriquement que les enfants dyscalculiques montrent des difficultés dans l'organisation spatiale sans pouvoir trouver plus de spécificités dans ce domaine. De même que pour le langage spatial tout en étant dépourvue de plus de données surtout objectives.

D'autre part, le dysfonctionnement sous-jacent dans le déficit spatial expliqué dans l'analyse et la synthèse des résultats et qui se traduit par un défaut de coordination, d'abstraction, d'anticipation...se rapproche énormément des mécanismes sous-jacents de la dyscalculie détaillée au niveau théorique.

7.2 Apports de notre travail

Nous pouvons déclarer que notre travail soutient plusieurs apports que nous allons transmettre à travers les points suivants :

- Au niveau personnel :
Ce travail rejoint en grande partie notre passion envers le sujet de la dyscalculie ainsi que la logicomathématique. La passation de la pratique avec des sujets sans difficultés était de même un véritable plaisir.
- Enrichissement des données théoriques :
Aucune étude testant le raisonnement spatial en lien avec la géométrie n'a pas été menée spécifiquement auprès d'enfants dyscalculiques. Malgré cela, nous avons eu le courage de traiter ce domaine. Sur ce, nous avons essayé de situer l'enfant dyscalculique quant à sa pensée spatiale d'un point de vue développemental concernant les différents types d'espace (topologique, projectif et euclidien).

Nous avons également dégagé un profil spécifique de l'intelligence spatiale chez l'enfant dyscalculique se manifestant par un dysfonctionnement sous-jacent aidant à mieux comprendre ses difficultés spatiales. De même, nous avons pu construire une base de données dans les différents aspects spatiaux

- Consolidation de l'évaluation des épreuves spatiales utilisées dans le bilan :

Par souci de validité, nous avons établi une évaluation objective des habiletés spatiales touchant le domaine de la géométrie à travers des scores comparés à la norme. L'évaluation qualitative ne serait pas suffisante à ce niveau.

- Bénéfices sur le terrain clinique orthophonique :

A travers l'objectivation de notre évaluation ainsi que l'analyse approfondie des résultats obtenus, l'orthophoniste pourra dépister précocement les troubles de l'espace en lien avec la géométrie dans le cas de la dyscalculie. Par conséquent, elle pourra aborder le travail à ce niveau en intégrant des objectifs bien ciblés afin de construire une base forte pour l'apprentissage des notions géométriques. Ceci pourrait constituer une prévention contre les difficultés de géométrie chez l'enfant dyscalculique. De toute façon, ces difficultés seront alors atténuées, ce qui aboutirait à un meilleur rendement scolaire.

7.3 Limites et perspectives

Bien que le nombre des enfants présentant une dyscalculie que nous avons choisi dans notre démarche soit acceptable pour soutenir une validité des conclusions tirées, il semble mieux d'élargir l'effectif des échantillons. En effet, et de cette façon, on pourrait standardiser les épreuves qui nous ont permis de tester le raisonnement spatial en lien avec la géométrie, ce qui pourrait aussi être utile non seulement dans le cas de la dyscalculie mais aussi dans d'autres troubles d'apprentissage.

Notons aussi que nous trouvons de minimes travaux de rééducation orthophonique du raisonnement spatial en lien avec la géométrie, ce qui pourrait constituer un travail de recherche plus précis à ce niveau.

En plus, il serait très intéressant d'aborder cette rééducation auprès d'un groupe d'enfants dyscalculiques et de les suivre selon une étude longitudinale pour évaluer l'impact de la thérapie sur le développement des notions géométriques en les comparant à un autre groupe de dyscalculiques ne suivant pas une thérapie.

CONCLUSION

« La capacité de combiner plusieurs attributs est importante pour le développement de la pensée logique ».

Britt-Mari Barth

C'est dans cet esprit que nous apercevons que les difficultés des enfants dyscalculiques sont le résultat de déficits à plusieurs niveaux. S'intéressant spécifiquement au domaine de la géométrie souvent ignorée dans les recherches traitant le sujet de la dyscalculie, et comme le raisonnement spatial est d'une importance majeure dans la préparation de la construction de ce domaine, nous nous sommes parti pour étudier les spécificités de ce raisonnement. En effet, cette étude permettra de déterminer les caractéristiques et les difficultés des enfants dyscalculiques à ce niveau. Ceci aboutira à une précision dans les prises en charge orthophoniques qui seront amenées à intégrer de façon précoce un travail précis dans la pensée spatiale.

Les recherches en neurosciences cognitive ainsi que les approches cognitives détaillées dans la partie théorique ont contribué à préciser plusieurs aspects spatiaux qui entrent en jeu dans l'apprentissage de la géométrie mais sans pouvoir les caractériser dans le cadre de la dyscalculie. Ces aspects se résument par l'organisation topologique, l'organisation projective, l'organisation euclidienne ainsi que le langage spatial utilisé pour les figures géométriques.

Devant ce fait, nous avons évalué ces différents aspects chez des enfants dyscalculiques sans troubles associés. Les résultats obtenus ont montré un échec dans les tâches spatiales testées montrant un grand écart par rapport à la norme. Donc, l'enfant dyscalculique présente un trouble spécifique dans le raisonnement spatial lié à la géométrie. Ce raisonnement rejoint le niveau préopératoire de la pensée logico-mathématique notée en dyscalculie et affectant par la suite l'acquisition des notions géométriques même les plus basiques.

Ajoutons que le dysfonctionnement spatial noté est lié à un déficit au niveau des habiletés logiques telle que la flexibilité de la pensée, la coordination des relations, le passage à un raisonnement mental plus abstrait ainsi que dans l'anticipation.

Concernant l'espace topologique, on note que les relations topologiques de base ne sont pas acquises au niveau des figures. A propos de l'espace projectif, la décentration mentale lui pose des difficultés menant à une incapacité à représenter les tableaux spatiaux selon différents points de vue. Pour l'espace euclidien, l'enfant dyscalculique ne dispose pas d'une image mentale convenable lui permettant de situer spatialement les dimensions des formes géométriques et des droites. De plus, il n'arrive pas à exprimer par le langage spatial les relations entre les éléments d'une figure géométrique.

Finalement, nous pouvons conclure que les bilans logico-mathématiques doivent se compléter par une évaluation de la pensée spatiale. Même si le travail en géométrie ne soit pas ciblé en début de travail vue les difficultés plus urgentes au niveau numérique, il s'avère primordial de construire une base spatiale solide afin de construire les notions géométriques plus aisément. Par conséquent, il serait intéressant d'étudier l'impact d'un tel travail sur l'évolution des enfants dyscalculiques en géométrie.

Références bibliographiques

Dictionnaires

- 1- BRIN, F. et al. (2006). *Dictionnaire d'Orthophonie*. Isbergues, France, Ortho éditions, 3^e édition.
- 2- CAMPOLINI, C., VAN HOVELL, V., et al. (2002). *Dictionnaire de logopédie : La construction du nombre, vol IV*, Louvain-la-Neuve.

Livres

- 1- BARTH, B. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris : Retz.
- 2- BERTRAND, T. (2002). *Psychologie du développement cognitive*. Paris, France : Armand Colin.
- 3- BUTTERWORTH, B. (2006). *Developmental dyscalculia, the mathematical brain*. London: Macmillan.
- 4- DOLLE, J-M. (1997). *Pour comprendre Jean PIAGET*. Toulouse, France : Privat.
- 5- FAYOL, M. (2012). *L'acquisition du nombre*. Paris France : Point Delta.
- 6- HENRIQUÈS, A. (1998). *Jouer et comprendre (p.p. 57 à 111)*. Lausanne Editions des Sentiers.
- 7- MANNONI, F. (1957). *Le pourquoi en mathématique: pour une analyse critique de l'acte pédagogique*. France : Les éditions ESF.
- 8- MANNONI, F. (1979). *La rééducation du raisonnement mathématique. Classes primaires et second degré (5^{ème} édition)*. Paris France : ESF.

- 9- PIAGET J. ET INHELDER B. (1998). *La Psychologie de l'enfant. (15^{ème} édition)*. Paris, France : PUF.
- 10- PIAGET, J. (1967). *La construction du réel chez l'enfant*. Suisse : Delachaux et Niestlé. Disponible sur le site de la fondation de Jean PIAGET : <http://www.fondationjeanpiaget.ch/>.
- 11- PIAGET, J-P. (1956). *Le problème des stades en psychologie de l'enfant*. Paris, France : PUF. Disponible sur le site de la fondation de Jean PIAGET : <http://www.fondationjeanpiaget.ch/>.
- 12- SARAMA, J., et CLEMENTS, D. (2009). *Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children*. New York, NY: Taylor & Francis.
- 13- TROADEC, B. (1998). *Psychologie du développement cognitif synthèse*. Paris, France : Armand Colin.
- 14- VAN HOUT, A., et MELJAC, C. (2001). *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant (p.p. 139 à 305)*. Paris : Masson.

Articles

- 1- DEHAENE S., MOLKO N., et al. (2004). *La dyscalculie*, Neurosciences, p.p. 42 à 49.
- 2- DEHAENE S., MOLKO N., Wilson A. (2004). *Dyscalculie, le sens perdu des nombres*, INSERM, n°379.
- 3- FAYOL M., CAMOS V., ROUSSEL J.-L. (2006). *Acquisition et mise en oeuvre de la numération : par les enfants de 2 à 9 ans*, CNRS, Université de Clermont (France).

- 4- HABIB M. (2002), *Base neurologique des troubles spécifiques d'apprentissage*. Revue de Réadaptation éditée par l'ONISEP, N°486, p.p. 16 à 28.
- 5- KLEES M. (1979). *L'enfant dyscalculique*. Revue des séminaires belges de réadaptation, Périodique de l'A.B.P.E.D., 34, pp. 30 à 50.
- 6- MENISSIER A. (1999). *Rééducation Orthophonique, Le dénombrement complexe à deux composantes*, n°199.
- 7- MIX, K. S., et CHENG, Y.-L. (2012). *The relation between space and math: Developmental and educational implications*, San Diego, CA: Academic Press, 42, 197–243.
- 8- NEWCOMBE N.S., et FRICK A. (2010). *Early Education for Spatial Intelligence: Why, What, and How*, Journal Compilation, 4 (3), 102–111.
- 9- NEWCOMBE, N. S. (2010). *Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking*, American Educator, 34, 29–30–35.
- 10- NEWCOMBE, N. S. (2013). *Seeing relationships: Using spatial thinking to teach science, mathematics, and social studies*, American Educator, 37(1), 26–31.
- 11- ROURKE, B. P. (1993). *Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective*, Journal of Learning Disabilities, 26, 214–226.
- 12- SHUMWAY, J. F. (2013). *Building bridges to spatial reasoning. Teaching Children Mathematics*, National Council of Teachers of Mathematics, 20(1), 44–51.

13- WAI, J., LUBINSKI, D., et BENBOW, C. P. (2009). *Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance*, Journal of Educational Psychology, 101, 817–835.

Sitographie

PIAGET, J-P. (1951). Manuscrits des enregistrements de J. Piaget faits à la Radio Suisse Romande le 6 mars 1951, disponible sur : <http://www.fondationjeanpiaget.ch/>

Glossaire

- Arithmétique : étude des propriétés de l'ensemble des nombres rationnels.
- Cortex : partie périphérique des hémisphères cérébraux, siège des fonctions nerveuses les plus élaborées.
- Géométrie : science des études de l'espace, ou étude des invariants d'un groupe de transformations de l'espace.
- Intelligence linguistique : (ou verbale) consiste à utiliser le langage pour comprendre les autres et pour exprimer ce que l'on pense.
- Intelligence logico-mathématique Les chercheurs et chercheuses en biologie, en informatique, en médecine, en science pure ou en mathématique font preuve d'intelligence logico-mathématique. Ils utilisent les capacités intellectuelles qui y sont rattachées, soient la logique, l'analyse, l'observation, la résolution de problèmes.
- Intelligence musicale : est la capacité de penser en rythmes et en mélodies, de reconnaître des modèles musicaux, de les mémoriser, de les interpréter, d'en créer, d'être sensible à la musicalité des mots et des phrases...
- Intelligence kinesthésique : est la capacité d'utiliser son corps ou une partie de son corps pour communiquer ou s'exprimer dans la vie quotidienne ou dans un contexte artistique; pour réaliser des tâches faisant appel à la motricité fine; pour apprendre en manipulant des objets; pour faire des exercices physiques ou pratiquer des sports.
- Intelligence naturaliste : est l'intelligence de l'amérindien, du biologiste, du botaniste, de l'écologiste, de l'océanographe, du zoologiste, de l'explorateur, du chasseur, du pêcheur et du chef cuisinier. L'individu est

capable de classer, de discriminer, de reconnaître et d'utiliser ses connaissances sur l'environnement naturel, les animaux, les végétaux ou les minéraux.

- Intelligence interpersonnelle : (ou sociale) permet à l'individu d'agir et de réagir avec les autres de façon correcte. Elle l'amène à constater les différences de tempérament, de caractère, de motifs d'action entre les individus. Elle permet l'empathie, la coopération, la tolérance. Elle permet de détecter les intentions de quelqu'un sans qu'elles ne soient ouvertement avouées.
- Intelligence intrapersonnelle : est l'aptitude à faire de l'introspection, c'est-à-dire à revenir à l'intérieur de soi, à identifier ses sentiments, à analyser ses pensées, ses comportements et ses émotions.
- Syndrome du X fragile : Affection héréditaire caractérisée par un retard mental modéré, un prognathisme, des oreilles trop grandes et décollées, un crâne étroit et allongé et une augmentation de volume des testicules
- Syndrome de Williams : est une maladie génétique caractérisée par un retard mental léger, des traits de personnalité uniques, des caractéristiques faciales inhabituelles et des maladies cardiovasculaires.
- Théorème : Proposition qui peut être démontrée par un raisonnement mathématique.

ANNEXE 1

Les épreuves logico-mathématiques adaptées en Anglais

1- Epreuve de classification (le tri dichotomique)

Consigne :

- "Tell me what do you see".
- "Can you put in piles all that go together? Put all those who are alike in pile ... Put together all those who are very much alike".
- "Why did you put like that?".
- "Now could you just make two piles (families) and put them in these two boxes?".
- "Why did you put all these together? And those? How could we call this pile? And this one?".
- "Could you arrange otherwise still in two piles?".
- "You have already done that. Can you find another way to put them together in two piles?".
- "Do you still might otherwise put them into two piles? ... again Can you arrange them in another way?".
- "The first time, how did you do ... And then?".

2- Epreuves de sériation (dessin des ronds)

Consigne:

"Here is a green circle, a red circle and a blue circle. You're going to draw here a circle that is smaller than the blue circle ... you'll draw a circle that is bigger than the red circle ... you'll draw a circle that is bigger than the green circle and smaller than the red circle ... you'll draw a circle that is bigger than the blue circle and smaller than the green circle ... you'll draw a circle that is bigger than the red circle and smaller than the blue circle".

3- Epreuve de conservation de la longueur

Consigne :

- "You see these two strings are long the same ... they are of same length".

- “And now what do you think? Do they have the same thing long? Is it that they are of same length? Or is it that this one is longer? Or is it that that one is longer? How do you know? Explain to me”.
- “And now what do you think? Do they have the same thing long? Is it that they are of same length? Or is it that this one is longer? Or is it that that one is longer?”.
- “The other day a child your age said that the two strings are of same length. What do you think? Could you tell me how you explain it, why you do not think like him?”.

4- Epreuve de concept des opérations

Consigne :

- “Make an addition with the dots”.
- “Make $7 + 4$ with the dots. Explain to me”.
- “Make a subtraction with the dots”.
- “Make $8-3$ with the dots. Explain to me”.

5- Epreuve de numération

Consigne:

- “Look what I'll do ... I count 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 and when I have 10 matches I attach them together this way with the elastic and now I have a small pack of ten matches. Can you do the same? A small pack? “.
- “I now give you this ... If I detach them all, how many will you have?”.

ANNEXE 2

Les épreuves du domaine du raisonnement spatial adaptées en Anglais

1- Epreuve de l'espace topologique

Consigne :

“Look ... here we have a paper that we will consider a garden. In this garden, there were sheep eating the grass with a shepherd who was watching them to care of them. Suddenly a wolf came. The shepherd says he must quickly make a barrier so the wolf does not enter and eat the sheep ... And you're going to help him by drawing it ...now you'll do the same, draw the barrier”.


2- Epreuve de l'espace euclidien

Consigne :

- “Here is this figure that you're going to try to copy with a colored pencil ... you'll draw it alike the best possible way ... while working, I'll give you other colored pencils to use them ... start”.
- “Now you're going to do the same thing but without the figure in front of you”.

3- Epreuve du dessin géométrique et expression

Consigne :

“Here you're going to write the sentence that corresponds to the drawing that I'll do there. I'll give you an example. If I draw there  then you're going to write here: draw a circle and split it in half horizontally ... we will start”.

4- Epreuve de décentration

Consigne :

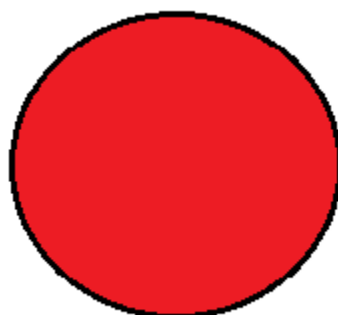
“I'll put the big cube by here and the small cube by here ... what do you see on the paper when you're in your place ... and if you put yourself here ... and here? ? ?and here ? ”.

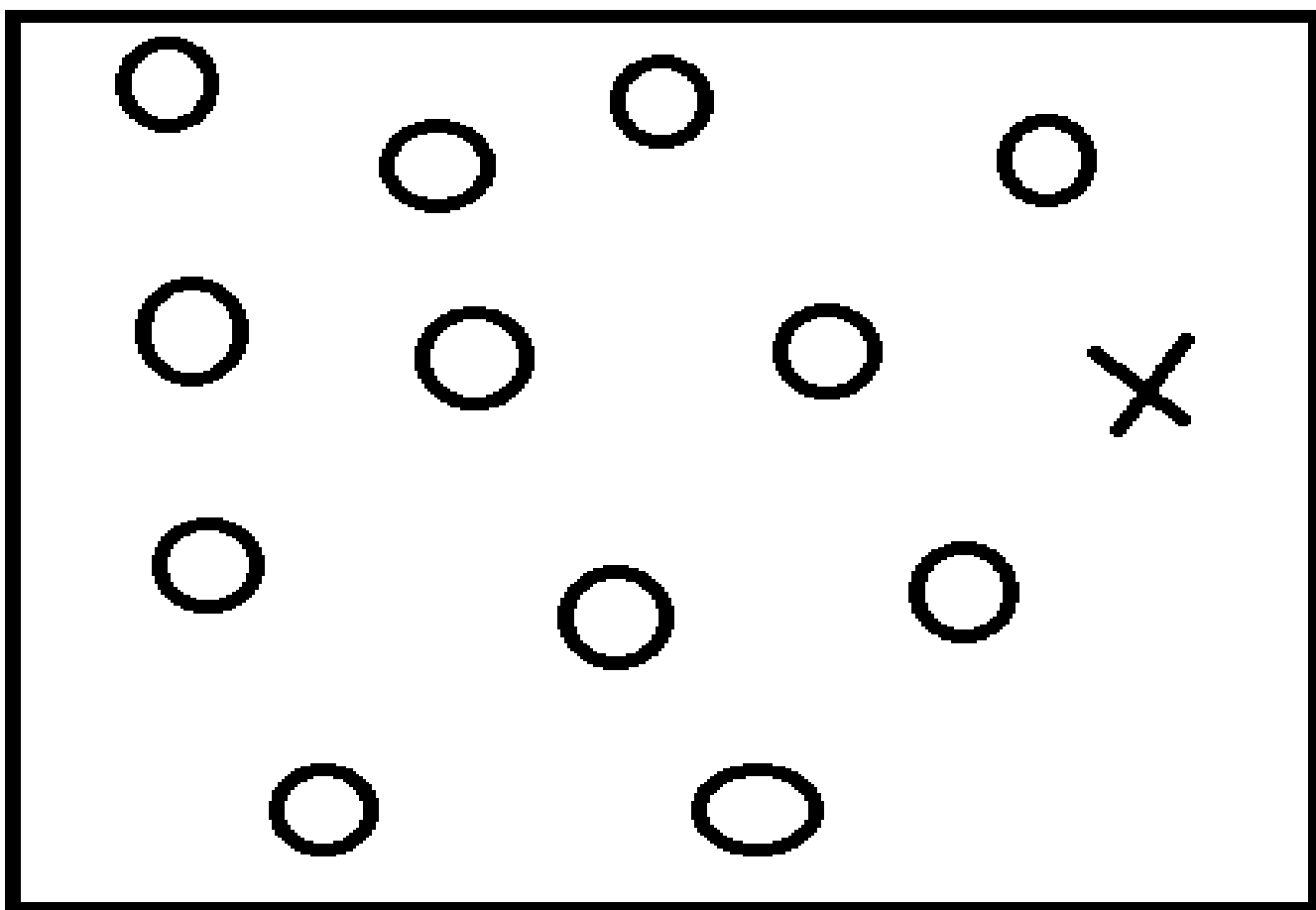
5- Epreuve de reproduction de formes (Barbizet)

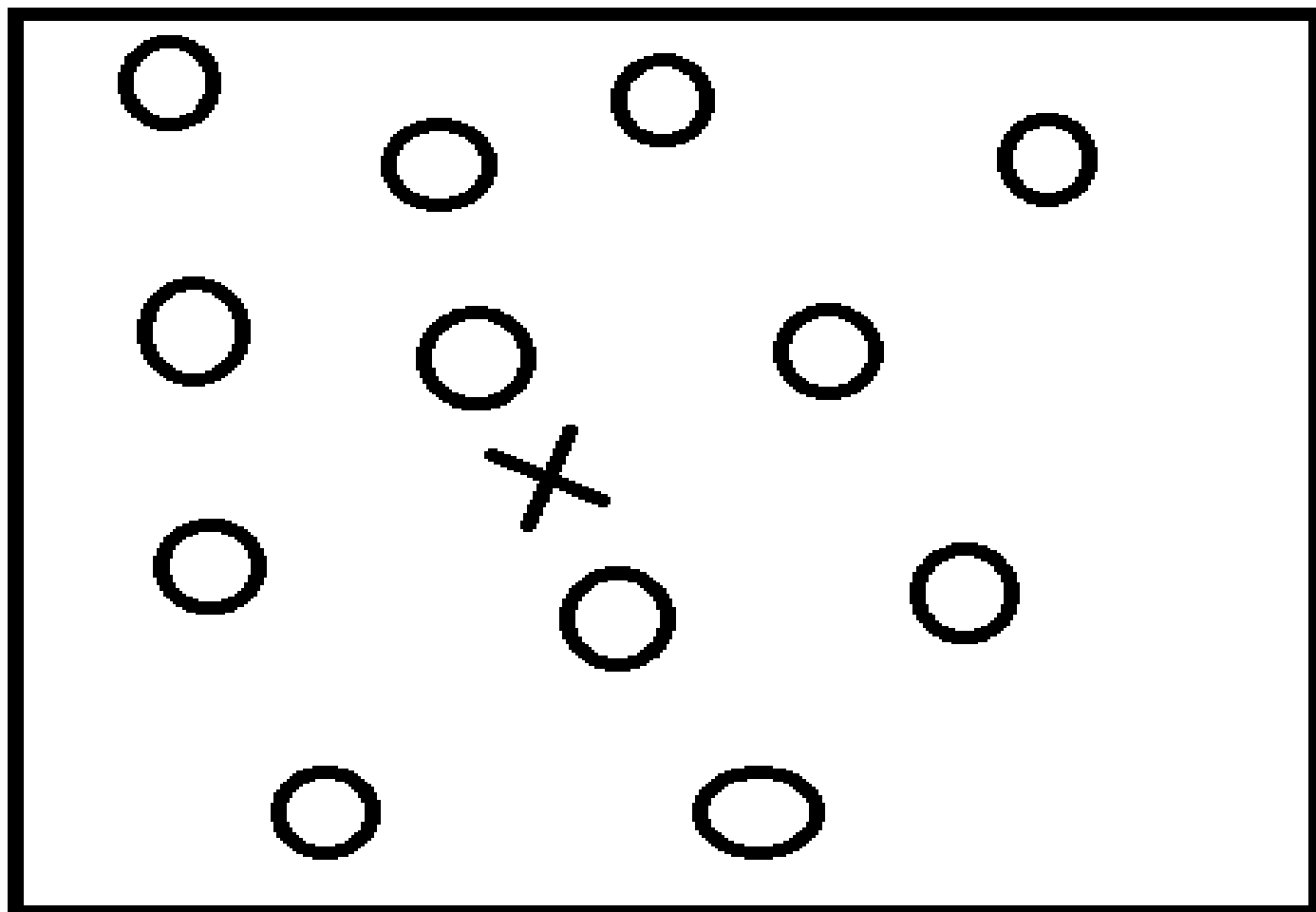
Consigne:

“Look at these forms ... you'll try to copy them the best possible way on the paper starting from there ... now this one ...”.

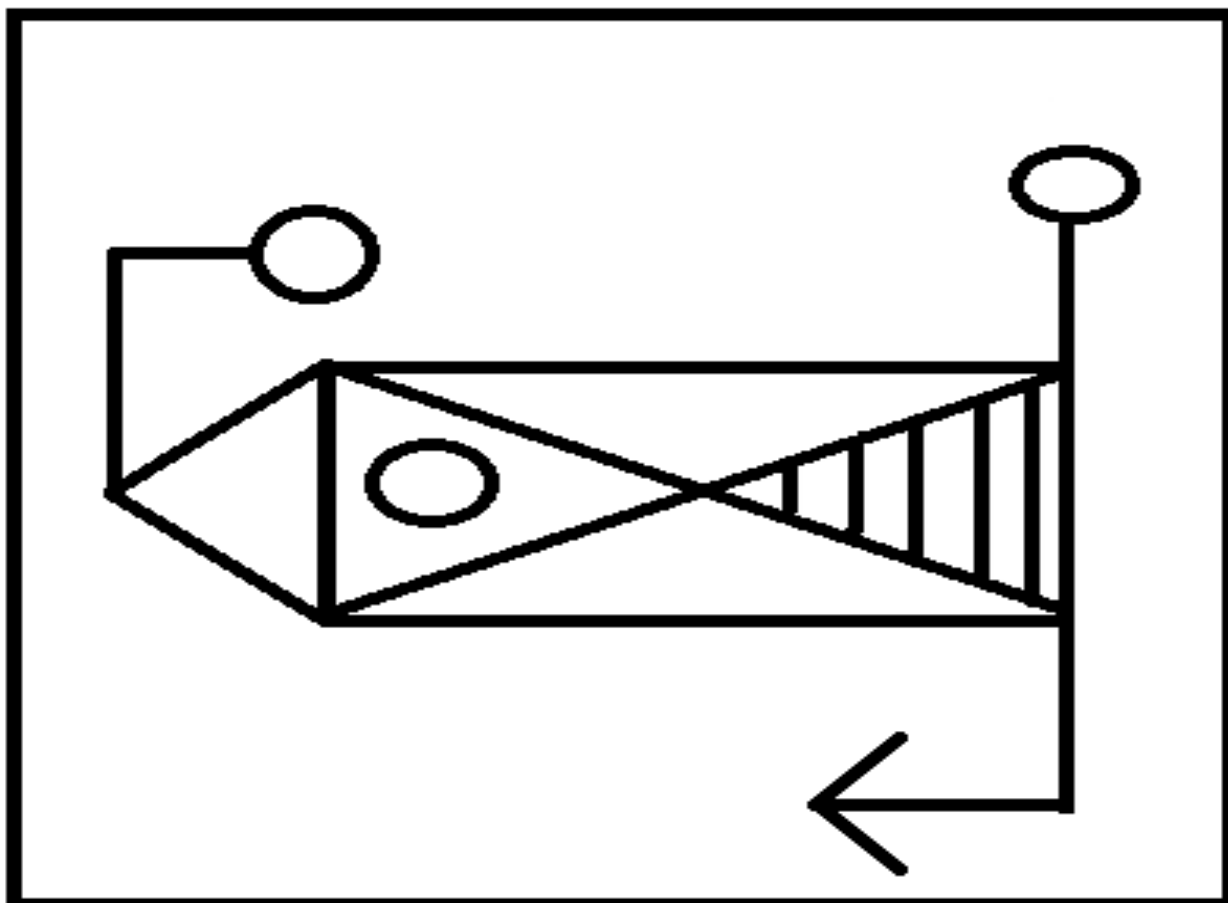
ANNEXE 3
Epreuve de sériation



Annexe 4**Epreuve de l'espace topologique (a)**

Epreuve de l'espace topologique (b)

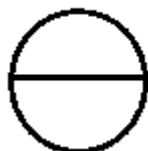
Annexe 5
Epreuve de l'espace euclidien



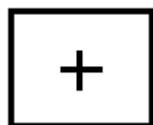
Annexe 6

Epreuve du dessin géométrique et expression

- Item modèle : dessiner un rond et le partager en deux horizontalement.



- Item 1 : dessiner un carre et placer une petite croix au milieu.



- Item 2 : dessiner un rond et le traverser par une ligne droite.



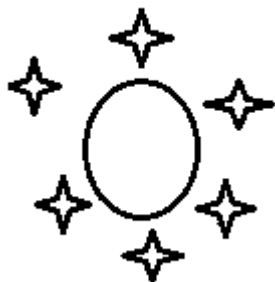
- Item 3 : tracer une ligne droite et placer un petit carré au-dessus.



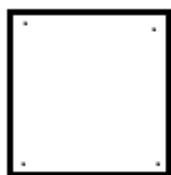
- Item 4 : tracer deux lignes droites qui se rencontrent.



- Item 5 : dessiner un rond et l'entourer de petites croix.



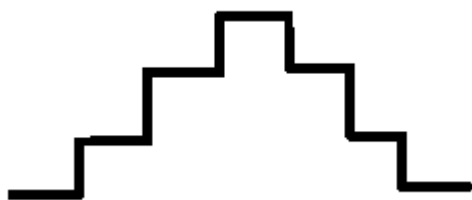
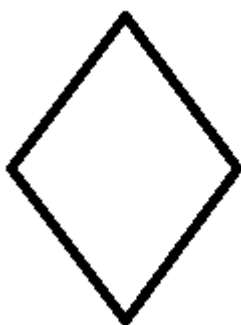
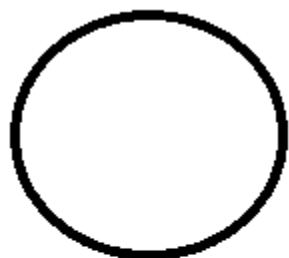
- Item 6 : dessiner un carré et mettre un point dans chaque angle.



- Item 7 : dessiner trois ronds (ou trois cercles) de grandeur différente.



Annexe 7
Epreuve de reproduction de formes



Annexe 8

Résultats du groupe Dys / Contrôle dans les épreuves du bilan

Groupe Dys

Resultats de Classification	Resultats de Seriatio	Resultats de Conservati	Resultats du Concept des Operatic	Resultats de Numerati
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Intermediaire	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Echec	Echec	Echec	Echec	Echec
Intermediaire	Echec	Echec	Echec	Intermediaire
Intermediaire	Echec	Intermediaire	Echec	Intermediaire
Intermediaire	Echec	Intermediaire	Echec	Intermediaire
Intermediaire	Echec	Echec	Echec	Intermediaire
Intermediaire	Echec	Echec	Echec	Echec
Intermediaire	Echec	Echec	Echec	Echec
Intermediaire avec Amorce	Echec	Echec	Echec	Echec
Intermediaire avec Amorce	Echec	Echec	Echec	Echec
Intermediaire avec Amorce	Echec	Echec	Echec	Intermediaire
Intermediaire avec Amorce	Echec	Echec	Echec	Echec

Resultats Espace Topologiqu	Resultats Espace Euclidien	Resultats Dessin et Ex	Resultats Decentratio	Resultats Reproduction Forme
0	9	0	0	4
0	9	0	0	4
0	9	0	0	4
0	10	0	0	4
0	10	0	0	4
0	10	0	0	3
1	12	0	0	4
0	10	0	0	4
0	6	0	0	4
0	6	0	0	4
1	20	0	0	4
2	20	0	0	4
2	20	0	0	4
1	13	0	0	4
1	13	0	0	4
1	17	1	0	4
0	6	2	0	4
0	17	1	0	4
0	17	2	0	4
0	12	1	0	4

