



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Marie Picard

Née le 22 mars 1982

Dyspraxie développementale : étude du développement
du raisonnement logique entre 6 et 12 ans.

Mémoire en vue de l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste

Université Victor Segalen Bordeaux 2

Année universitaire 2009-2010



Département d'Orthophonie

Pr. René DAUMAN
Anne LAMOTHE-CORNELOUP

Mémoire d'Orthophonie

TITRE : Dyspraxie développementale : étude du développement du raisonnement logique entre 6 et 12 ans.

DATE DE PASSATION : 03 Septembre 2010

NOM DE L'ETUDIANT : Marie PICARD

MEMBRES DU JURY :
- Directrice Adjointe : Anne LAMOTHE-CORNELOUP
- Directeur de Mémoire : Elisabeth LONGERE-TROLLET
- Membres du Jury : - Eze LE COCHENNEC
- Valérie BIRABEN - VAUDRON

APPRECIATION : Très Honorable - Honorable - Satisfaisant - Passable

COMMENTAIRES : Mémoire courageux qui témoigne d'un important travail personnel, tant dans la synthèse des données théoriques que pour la mise en œuvre de l'étude clinique. L'analyse des résultats est très intéressante malgré une présentation des résultats bruts un peu indigeste. Ce travail montre bien la place que peuvent prendre les orthophonistes, thérapeutes du langage, dans la prise en charge des enfants dyspraxiques.

Signature du Coordonnateur Pédagogique

Signatures des membres du jury

A. Lamotte - Corneloup

Remerciements :

Je tiens à remercier Madame Elisabeth Longère, directrice de ce mémoire, pour ses conseils et la confiance qu'elle m'a accordée pour traiter ce sujet.

Je remercie également Madame Eve Le Cochenec et Madame Valérie Biraben-Vaudron qui se sont intéressées à ce travail et qui ont accepté de participer au jury de soutenance.

Je tiens également à remercier Madame Sylvie Beaucourt et Madame Anne Lamothe-Corneloup qui ont veillé au bon déroulement de ces 4 années d'études.

Enfin, je remercie tous les enfants et leurs parents qui ont accepté de me recevoir et de participer à cette étude. Je pense également aux membres de l'association *Dyspraxique Mais Fantastique* et aux différents professionnels de santé qui m'ont aidée à contacter les familles d'enfants dyspraxiques.

Introduction	9
Partie 1 : La dyspraxie	
1.1 Aspect développemental du geste.....	12
1.1.1 Praxies : définition	12
1.1.2 Organisation neurologique de la motricité volontaire	13
1.1.3 Développement des praxies chez l'enfant	15
1.2 La dyspraxie	18
1.2.1 Présentation	18
1.2.1.1 Concept de dyspraxie : historique et terminologies	18
1.2.1.2 Définitions.....	20
1.2.2 Hypothèses étiologiques plurielles	22
1.2.2.1 Hypothèses étiologiques au niveau de la pensée	22
1.2.2.2 Hypothèses étiologiques en neurophysiologie	23
1.2.2.3 Hypothèses étiologiques en neuropsychologie	24
1.2.3 Prévalence	28
1.2.4 Comorbidités	28
1.2.5 Sémiologies	29
1.2.5.1 Des troubles hétérogènes	29
1.2.5.2 Des tableaux variés	30
1.2.6 Diagnostic.....	33
1.2.6.1 L'enjeu du diagnostic.....	33
1.2.6.2 A l'origine du diagnostic	33
1.2.6.3 La démarche diagnostique	34
1.2.7 Répercussions.....	37
1.2.7.1 Impact de la dyspraxie sur le développement psychologique.....	37
1.2.7.2 Dyspraxie et troubles des apprentissages.....	38

Partie 2 : Le trouble spécifique de l'apprentissage des mathématiques

2.1	Etude du développement des apprentissages de l'enfant.....	42
2.1.1	Rappels historiques	42
2.1.2	Principales théories sur le développement intellectuel de l'enfant	43
2.1.2.1	Théorie de l'épistémologie génétique : J. Piaget	43
2.1.2.2	Quelques théories de la psychologie du développement après Piaget :	49
2.1.2.3	Les théories neuropsychologiques contemporaines	51
2.2	Apprentissage des mathématiques.....	54
2.2.1	Le subitizing.....	54
2.2.2	La perception globale	55
2.2.3	Le comptage	55
2.2.4	Le dénombrement.....	57
2.2.5	Les procédés de quantification et l'acquisition du nombre.....	58
2.2.6	Le transcodage.....	59
2.2.7	L'apprentissage des opérations de calcul	60
2.2.7.1	L'addition et la soustraction.....	60
2.2.7.2	La multiplication et la division	61
2.2.8	La résolution des problèmes.....	62
2.3	La dyscalculie	64
2.3.1	Définitions	64
2.3.2	Prévalence	65
2.3.3	Hypothèses étiologiques.....	66
2.3.3.1	Hypothèses génétiques	66
2.3.3.2	Hypothèses sociétales	66
2.3.3.3	Hypothèse opératoire	67
2.3.3.4	Hypothèses neurologiques	67
2.3.3.5	Hypothèses neuropsychologiques	70

2.3.4	Classifications	71
2.3.4.1	Classification de Kosc.....	72
2.3.4.2	Classification de Badian	72
2.3.4.3	Classification de Von Aster et Shalev	72
2.3.5	Comorbidités	73
2.3.5.1	Dyscalculie et dyslexie	73
2.3.5.2	Dyscalculie et dysphasie	74
2.3.5.3	Dyscalculie et déficit attentionnel.....	75
2.3.5.4	Dyscalculie et troubles visuo-spatiaux.....	75
2.3.5.5	Dyscalculie et troubles praxiques	76
2.3.5.6	Dyscalculie et autres troubles	77

Partie 3 : La dyspraxie et les mathématiques

3.1	Théories sur les difficultés de traitement des aspects spatiaux.....	79
3.1.1	Le dénombrement.....	79
3.1.2	La correspondance terme à terme et la manipulation de matériel	80
3.1.3	La numération	80
3.1.4	Le calcul	81
3.1.5	La résolution des problèmes.....	81
3.1.6	La géométrie.....	81
3.2	Développement du raisonnement logique et dyspraxie	83
3.2.1	Théories sur le lien entre les troubles du développement moteur et les troubles du raisonnement logique	83
3.2.1.1	Du point de vue neuro-anatomique.....	83
3.2.1.2	Du point de vue cognitif	83
3.2.2	Théorie de Mazeau	85
3.2.3	Théorie de De Ajuriaguerra.....	86
3.2.4	Autres théories.....	87

Partie 4 : Déroulement de l'étude

4.1	Méthodologie.....	92
4.1.1	Problématique.....	92
4.1.2	Hypothèses et objectifs.....	93
4.2	Recrutement de la population	94
4.2.1	Critères d'inclusion	94
4.2.2	Critères d'exclusion.....	94
4.2.3	Description de la population	94
4.3	Evaluation.....	95
4.3.1	Tests utilisés	95
4.3.2	Déroulement de l'évaluation	102

Partie 5 : Présentation des résultats

5.1	Résultats aux épreuves de conservation de l'UDN2	104
5.1.1	Conservation des quantités discontinues.....	104
5.1.2	Conservation des longueurs	106
5.1.3	Conservation de la substance	108
5.1.4	Conservation du poids.....	109
5.1.5	Dissociation poids/volume	111
5.1.6	Synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de conservation	112
5.2	Résultats aux épreuves de logique élémentaire de l'UDN2	113
5.2.1	Sériation	113
5.2.2	Classification.....	116
5.2.3	Inclusion.....	118
5.2.4	Synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de logique élémentaire	120
5.3	Résultats aux épreuves du Zareki-R	121
5.4	Liens entre les résultats à l'UDN2 et les résultats au Zareki-R.....	124
5.5	Informations collectées dans le questionnaire d'anamnèse	128

Partie 6 : Discussion

6.1	Rappel des objectifs.....	136
6.2	Discussion des résultats	136
6.2.1	Epreuves de conservation.....	136
6.2.2	Epreuves de logique élémentaire.....	139
6.2.3	Epreuves de manipulation et de compréhension du nombre.....	141
6.2.4	Liens entre les résultats aux épreuves de l'UDN2 et du Zareki-R.....	143
6.3	Biais et limites de l'étude	144
6.4	Perspectives	145
	Conclusion.....	145
	Bibliographie.....	147
	Annexes :	
	Annexe 1 : Développement psychomoteur selon Dunn.....	155
	Annexe 2 : Modèle des quatre quadrants de Lussier et Flessas.....	156
	Annexe 3 : Questionnaire d'anamnèse.....	157
	Annexe 4 : Ordre de passation des épreuves de l'UDN2.....	165
	Annexe 5 : Index des figures.....	166

Introduction :

Piaget, dans les années 60, fut le premier à théoriser le développement du raisonnement logique chez l'enfant. Selon lui, l'enfant, à partir de ses manipulations quotidiennes, assimile les données perceptives spatiales et temporelles. Dès que l'enfant accède à la pensée symbolique, il devient capable d'intérioriser ces données et il peut, dès lors, se les représenter et les manipuler mentalement : c'est le début du développement de son intelligence (Piaget, 1967). Progressivement, l'enfant se décentre de ses perceptions immédiates et va accéder aux principes de relations de ressemblance et de différence, principes sur lesquels reposent les notions de logique élémentaire : les classes et l'inclusion des classes (élaborées à partir des ressemblances) et la sériation (possible à partir de l'appréciation des différences). Pour Piaget, ces notions sont indispensables à la construction du nombre. En effet, l'enfant doit apprendre la numération qui est à la fois une chaîne dont les éléments sont sériés et dans laquelle un nombre est inclus dans un autre supérieur à lui. Les théories de Piaget ont ensuite été critiquées et complétées. En effet, il semble que le concept de nombre, outre ces procédés logiques, s'élabore à travers les différentes expériences de quantification (subitizing, dénombrement et perception globale) (Lussier et Flessas, 2009).

La dyspraxie, bien que sa sémiologie et son étiologie ne fassent pas l'objet d'un consensus, est définie comme un trouble d'automatisation de la planification et de la pré-programmation des praxies (Mazeau, 1995). Au cours du développement ordinaire, l'enfant développe sa motricité et apprend un certain nombre de gestes dits « culturels », ou praxies, qu'il automatise progressivement. Pour l'enfant dyspraxique, cet apprentissage des praxies ne s'automatise pas et nécessite un effort permanent, le geste reste maladroit et toujours variable d'une production à l'autre. Dans la sémiologie, les auteurs qui se sont intéressés à la dyspraxie relèvent différents troubles, notamment des troubles du regard entraînant des difficultés de perception des distances, des orientations et des relations topologiques (Mazeau, 1995). Certains auteurs relèvent également des troubles dans la perception de la durée et du temps qui s'écoule (Lussier et Flessas, 2009). Au vu de ces troubles praxiques et visuo-spatiaux et des difficultés de perception temporelle, on comprend aisément que la dyspraxie puisse avoir des retentissements sur les apprentissages : en graphisme, en lecture, en mathématiques et

dans toutes les matières qui nécessitent la manipulation de tableaux ou de graphiques, comme la géographie par exemple (Mazeau, 1995). Concernant l'apprentissage des mathématiques, qui nous intéresse plus particulièrement dans cette étude, les différents auteurs qui se sont intéressés à la dyspraxie sont unanimes : l'apprentissage des mathématiques est difficile pour l'enfant dyspraxique du fait des compétences spatiales requises dans cette discipline.

En revanche, concernant le développement du raisonnement logique chez l'enfant dyspraxique, les avis divergent. En effet, nous pouvons penser que les maladresses dans la manipulation, ainsi que les troubles visuo-spatiaux et les difficultés de perception des données temporelles décrits chez ces enfants sont susceptibles d'entraîner un trouble du développement du raisonnement logique, tel qu'il a été décrit par Piaget. Nous devons toutefois souligner que les études des auteurs qui ne retrouvent pas de trouble du développement du raisonnement logique ont porté sur des enfants présentant une dyspraxie lésionnelle (Mazeau, 1995) ou une dyspraxie associée à des troubles graves du développement de la personnalité (De Ajuriaguerra et coll., 1964).

Aussi, nous proposons d'étudier les compétences logiques élémentaires chez des enfants dyspraxiques âgés de 6 à 12 ans, présentant une dyspraxie développementale. Nous comparerons ces compétences avec les compétences d'acquisition du nombre en distinguant les résultats obtenus lors d'épreuves faisant intervenir des compétences spatiales de ceux obtenus lors d'épreuves ne faisant pas intervenir ces notions spatiales.

Partie 1 : La dyspraxie

1.1 Aspect développemental du geste

1.1.1 Praxies : définition

Mazeau (1995) définit les praxies à partir du mouvement puis du geste.

Un **mouvement** est la mobilité d'un membre ou d'un segment de membre liée à la contraction d'un muscle ou d'un groupe de muscles.

Le **geste** est un ensemble organisé de mouvements produit dans un but précis. La production d'un geste nécessite d'anticiper l'action à réaliser et de considérer l'environnement et ses différentes caractéristiques afin que ce geste atteigne le but fixé au préalable et que sa réalisation soit harmonieuse. Il existe deux types de gestes (Lussier et Flessas, 2009) :

- Les gestes acquis par maturation ; ce sont, par exemple, la marche ou la déglutition qui, au cours du développement et de la maturation du système nerveux central, passent d'une activité réflexe à une activité automatique, modulable et contrôlée par le cortex. Ces gestes sont universels et s'acquièrent au cours du développement sans apprentissage spécifique.
- Les gestes culturels acquis à la suite d'un apprentissage intentionnel. Ce sont, par exemple, l'habillage, l'écriture, le vélo, etc. Ces gestes nécessitent un apprentissage explicite plus ou moins long permettant au cerveau d'intégrer les programmes moteurs.

Les **praxies** concernent ces gestes appris et correspondent à leur pré-programmation, à la planification des différents gestes orientés vers un but et à l'organisation des mouvements répondant à ce but. Elles permettent au geste d'être ajusté et fluide. Une praxie est donc un schème de gestes qui s'acquiert par l'imitation, la répétition et l'entraînement.

Michèle Mazeau (1995) décrit deux grands types de praxies :

- Les praxies constructives, qui correspondent aux gestes visant à assembler un ensemble d'éléments non signifiants en vue de construire un tout signifiant.

- Les praxies idéatoires et idéomotrices, qui mettent en jeu des données temporelles et dont la réalisation implique une sériation. La différence entre ces deux types de praxies réside dans la nature des objets manipulés. En effet, les praxies idéatoires impliquent la manipulation d'objets réels (mettre une lettre dans une enveloppe par exemple). Tandis que les praxies idéomotrices concernent les gestes dits « intransitifs », c'est-à-dire n'impliquant pas la manipulation d'objets réels (dans le mime par exemple).

1.1.2 Organisation neurologique de la motricité volontaire

La réalisation d'un mouvement volontaire nécessite plusieurs étapes :

- Identifier le but visé
- Mettre en place un programme moteur (définir les muscles à contracter puis l'ordre, la force et la durée des contractions)
- Assurer un contrôle du mouvement et opérer un éventuel réajustement.

Différentes structures corticales et sous-corticales sont donc impliquées dans l'activité motrice volontaire.

Les programmes moteurs répondent à une anticipation du mouvement antérieure à l'exécution même de ce mouvement. Ils sont engrammés et une simple évocation du but fait s'initier le mouvement et se dérouler tout le programme moteur. Les aires prémotrice et motrice supplémentaire mettent en place le programme moteur qu'elles transmettent ensuite à l'aire motrice primaire qui commande alors les organes effecteurs via les nerfs efférents. L'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaire (ou aire motrice secondaire) sont organisées par somatotopie, chaque muscle étant représenté en fonction du nombre de terminaisons nerveuses nécessaires à sa contraction (selon le modèle de l'homunculus de Penfield) ; elles sont responsables de mouvements entiers de membres, par contractions séquentielles et coordonnées de plusieurs muscles, qui sont des programmes moteurs. L'aire motrice primaire (ou aire motrice principale), située dans le lobe frontal en arrière des aires prémotrice et motrice supplémentaire, commande la contraction de chacun des différents

muscles du corps grâce aux voies motrices, ou voies efférentes, qui véhiculent ensuite l'information jusqu'aux organes effecteurs périphériques de l'hémicorps controlatéral (décussation des voies nerveuses au niveau du tronc cérébral). Cette aire est également organisée par somatotopie ; ainsi, plus la motricité est fine plus le nombre de nerfs impliqués est important et donc plus la zone corticale concernée est large.

Ces programmes moteurs sont cependant modulables. En effet, des ajustements peuvent avoir lieu pendant et a posteriori des mouvements, après contrôle rétroactif des informations internes et externes véhiculées en partie par les voies sensibles, ou voies afférentes. Les informations internes, ou intéroceptives, sont d'ordre kinesthésique, proprioceptif et vestibulaire, quant aux informations externes, ou extéroceptives, elles sont plutôt d'ordre tactile, auditif ou visuel. Une régulation des contractions en force et en longueur est également possible pendant la réalisation du mouvement grâce aux informations spino-corticales somesthésiques et aux informations spino-cérébello-thalamo-corticales.

Il existe donc une *proaction*, qui correspond à la planification de l'action et une *rétroaction*, qui correspond à la correction du mouvement (Rivière, 2000).

Tout ceci implique différentes structures corticales et sous-corticales qui intègrent les informations afférentes et mettent en place une réponse motrice appropriée :

- Les noyaux gris de la base qui permettent de concevoir un comportement,
- Le thalamus, situé dans la partie centrale du cortex, est un relais de l'information sensorielle ; il facilite la réalisation du mouvement en activant les aires prémotrice et motrice supplémentaire,
- Les aires pariétales postérieures qui intègrent des informations sensorielles (somesthésiques, auditives et visuelles) et établissent ensuite des relations permettant à la fois d'appréhender la situation et de définir le but à atteindre,
- Le cervelet qui est régulateur du mouvement : il reçoit à la fois des informations sur les programmes moteurs et des informations sensorielles en retour des performances motrices et il commande certains systèmes moteurs. Le cervelet serait également impliqué dans l'apprentissage moteur, il permettrait l'automatisation des séquences gestuelles apprises.

1.1.3 Développement des praxies chez l'enfant

Nous avons vu que les praxies concernent les gestes acquis par apprentissage grâce à l'imitation, la répétition et l'entraînement. Elles s'acquièrent donc progressivement au cours du développement de l'enfant. La *proaction* (planification des mouvements) se développe, tandis que la *rétroaction* (correction du mouvement) est toujours nécessaire mais progressivement moins fréquente (Rivière, 2000). Différents auteurs se sont intéressés au développement des praxies chez l'enfant.

De Ajuriaguerra et coll. (1964) décrivent trois étapes dans le développement de l'activité motrice qui permettent à l'enfant de passer d'une activité motrice purement réflexe à une activité motrice mentalisée grâce au développement de la pensée symbolique :

- Une période d'organisation tonique et proprioceptive durant laquelle l'enfant abandonne progressivement ses réflexes primitifs.
- Une période d'organisation motrice durant laquelle l'enfant devient capable de prendre en compte des éléments simultanés. Les mouvements deviennent plus adaptés, ils sont plus fluides dans l'espace et le temps et ils peuvent se présenter sous différentes formes.
- Enfin, l'enfant automatise ses apprentissages moteurs. Il reste cependant quelques immaturités (maladresse, syncinésies, etc.) qui disparaîtront progressivement avec la maturation cérébrale et le développement progressif du processus d'inhibition permettant une sélection plus fine et plus précise des muscles et une meilleure coordination des actions (Wallon cité par De Ajuriaguerra et coll., 1964).

Selon Paillard (1986, cité par Mazeau, 2006), il n'y aurait que deux phases dans l'apprentissage moteur :

- Une phase intentionnelle : le sujet contrôle par voie volontaire les gestes et les régulations nécessaires. Durant cette phase les circuits neuronaux sous-jacents s'organisent, permettant de nouvelles configurations posturo-cinétiques.
- Une phase d'automatisation : les gestes appris s'automatisent et nécessitent alors moins de contrôle attentionnel.

Luria (1978, cité par Lussier et Flessas, 2009) a étudié les âges de maturation des aires motrices corticales qui permettent la réalisation de certains gestes :

- A 4 ans, l'aire motrice primaire est développée et l'enfant devient capable de mimer en utilisant une partie de son corps pour représenter un objet (utilisation par exemple du doigt comme prolongement de la main pour mimer une brosse à dents).
- A 6 ou 7 ans, la fonction symbolique est en place, l'aire prémotrice est développée, l'enfant peut alors mimer des postures ou des situations en imaginant l'objet sans avoir besoin de le représenter.

Le développement des différentes praxies met en jeu des processus complexes et précoces chez le bébé et il dépend des apprentissages et de la culture du sujet. Selon Lussier et Flessas (2009) le développement des différentes praxies chez l'enfant facilite sa maîtrise de l'environnement, il s'enrichit progressivement en améliorant qualitativement et quantitativement ses capacités gestuelles, tant au niveau de la manipulation des objets qu'au niveau des gestes de communication. Mazeau (2006) insiste sur l'importance de l'imitation dans les apprentissages moteurs. En effet, la découverte des neurones miroirs (il existe une réactivation des neurones activés lors d'un acte moteur sans réalisation réelle) puis la mise en évidence du lien perception-action (l'évocation mentale d'un geste active les mêmes réseaux neuronaux que si le sujet réalisait physiquement le geste grâce aux neurones miroirs) permettent de confirmer l'importance de l'observation et de l'imitation des actes moteurs chez l'enfant. De Ajuriaguerra et coll. (1964) précisent que la mise en place des praxies dépend du développement moteur mais aussi de l'organisation spatiale et de la conscience du schéma corporel. Lacert et Bloch (2005) se sont intéressés au développement de la manualité : le bébé, dès sa naissance, posséderait des capacités manuelles qui s'affineraient et se préciseraient au cours de son développement grâce à ses expériences de manipulation. La mise en place d'une préhension adaptée à l'objet nécessiterait trois étapes préalables :

- Stabilité du tronc et de la tête,
- Efficacité du regard (plus stable et plus long) sur l'objet,
- Anticipation de l'action par la prise en considération des propriétés de l'objet et de la situation.

D'autres recherches ont mis en évidence une corrélation entre la mise en place des praxies et le développement des autres fonctions cognitives. Ainsi, Dewey (1995, cité par

Lussier et Flessas, 2009) a mis en évidence une corrélation positive entre la complexité des gestes acquis et le niveau de compréhension du langage chez les bébés. Elle a également étudié le déroulement de l'apprentissage des praxies entre 6 et 11 ans en calculant le taux d'erreurs de mouvement et a conclu à la maturation des praxies vers l'âge de 11 ans pour les activités quotidiennes et scolaires.

Enfin, Dunn (1992, cité par Lussier et Flessas, 2009) a tenté d'établir une chronologie de mise en place des praxies entre 3 et 6 ans en abordant les gestes de vie quotidienne (par exemple se brosser les cheveux, couper ses aliments, s'habiller...), les déplacements (courir sur la pointe des pieds, descendre des escaliers, utiliser une balançoire ou une échelle...) et les activités de jeux (encastrement, utilisation d'une balle...). Cette chronologie dépend bien évidemment du milieu culturel de l'enfant. (Cf. annexes page 156).

En résumé, les praxies de l'enfant se mettent progressivement en place dès sa naissance grâce à ses capacités d'observation et d'imitation et cela s'inscrit dans une culture donnée et en parallèle au développement global de l'enfant (développement moteur, conscience du schéma corporel, développement cognitif).

Nous allons maintenant nous intéresser au développement pathologique des praxies, généralement décrit sous le terme de dyspraxie.

1.2 La dyspraxie

1.2.1 Présentation

1.2.1.1 Concept de dyspraxie : historique et terminologies

Les troubles praxiques chez l'enfant ont beaucoup interrogé les professionnels et ont donné lieu à des descriptions et terminologies très variées en fonction des domaines d'investigation.

Ainsi, dès 1911, Dupré (cité par Gérard, 2005) parle de « débilité motrice » en décrivant des enfants dont le développement moteur est anormal et ne peut s'expliquer par la présence d'un retard mental ou d'une pathologie neurologique évidente.

Dans un second temps, les études en neuropsychologie vont s'inspirer des études sur l'apraxie de l'adulte (trouble du geste acquis suite à une lésion cérébrale) et s'intéresseront essentiellement à la dyspraxie lésionnelle. Les troubles praxiques sont alors décrits en tant que symptômes dans le cadre d'affections métaboliques, génétiques ou d'une infirmité motrice cérébrale. Comme nous le verrons plus tard, nous trouvons encore aujourd'hui dans la littérature pédiatrique l'emploi du terme de « dyspraxie » pour décrire un symptôme d'une affection plus générale.

Les premières descriptions documentées de dyspraxie développementale sont à attribuer à des pédopsychiatres francophones regroupés autour de De Ajuriaguerra (1964). Ils sont partis de la théorie structuraliste de J. Piaget selon laquelle l'action de l'enfant participe à la construction de sa pensée. Ils décrivent la dyspraxie à partir de l'observation de perturbations du développement de la motricité, de perturbations du schéma corporel et de perturbations de la personnalité (rôle de l'affectivité). Gérard (2005) souligne que dans cette conception, le trouble du geste se situe donc au niveau de la pensée. Cette théorie est aujourd'hui remise en question car elle semble insuffisante pour expliquer la pathologie (Marchall et Quentin, 2006).

Parallèlement, les spécialistes de l'enfant handicapé moteur sont confrontés, avec les progrès de la médecine et de la réanimation, à l'augmentation du nombre d'enfants anciens prématurés, avec des lésions cérébrales très discrètes, et présentant aux premiers plans des troubles du geste, des troubles visuo-spatiaux et des difficultés scolaires. Mazeau (2006) parle alors de « filiation historique » entre la dyspraxie observée dans le cadre de lésions cérébrales et la dyspraxie développementale (sans lésions cérébrales).

Dans les années 80, avec l'essor des sciences cognitives, apparaît le terme de « trouble spécifique des apprentissages ». Ce trouble spécifique de l'apprentissage ne concerne pas le geste, dans un premier temps mais plutôt les troubles du langage, les troubles de l'attention et les troubles des fonctions exécutives. Suite à ces études sur la spécificité des troubles, Snowling (2002, cité par Gérard, 2005) emploiera le terme de « syndrome déficit des capacités non verbales » pour décrire les pathologies du geste. Parallèlement, les auteurs anglophones ont également tenté de décrire des maladroises développementales ou constitutionnelles. Mais, comme pour la dyslexie, ces descriptions n'étaient pas suffisamment précises et mettaient sur un même plan le trouble, la plainte et les répercussions du trouble plutôt que de tenter de mettre en évidence une pathologie des processus développementaux (Gérard, 2005).

Les classifications CIM-10 (classification de l'OMS) et DSM-IV (classification américaine), sur lesquelles se basent les recherches en psychopathologie du développement, ne parlent pas de « dyspraxie ». La classification de l'OMS décrit un « trouble spécifique des coordinations motrices » et la classification américaine un « trouble d'acquisition des coordinations » (TAC). Si certains auteurs considèrent que ces différentes terminologies sont synonymes de la dyspraxie, il en est tout autrement pour Gérard (2005) ou encore Marchal et Quentin (2006). En effet, ces auteurs attirent l'attention sur la base théorique sur laquelle se sont appuyés les auteurs francophones depuis les années 60 pour décrire le syndrome dyspraxique et sur laquelle s'appuie également la psychiatrie française. Ils pensent que les classifications américaine et internationale ne se fondent pas sur une base théorique suffisante, qu'elles intègrent un spectre de symptômes plutôt que de décrire un véritable syndrome. Mazeau (2005) oppose également le TAC et la dyspraxie. Selon elle, le TAC désigne plutôt une atteinte des gestes universels, acquis par maturation cérébrale (la marche, la course...), le mouvement dynamique en est l'élément central, tandis que c'est plutôt la disposition spatiale des éléments qui est l'élément central de la dyspraxie.

1.2.1.2 Définitions

Il semble donc difficile d'accorder les chercheurs sur une description de la dyspraxie. Aujourd'hui, on distingue plutôt deux courants :

- Certains auteurs s'appuient sur les classifications internationale et américaine, et ne parlent pas de dyspraxie mais de « trouble spécifique des coordinations » ou de « trouble d'acquisition des coordinations ». Ces classifications définissent des critères à retrouver chez l'enfant examiné pour poser le diagnostic :

CIM-10 Trouble spécifique des coordinations motrices	DSM-IV Trouble d'acquisition des coordinations
A. Le résultat obtenu à un test standardisé de coordination motrice se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique. B. La perturbation décrite précédemment interfère de façon significative avec les performances scolaires ou les activités de la vie courante. Absence de toute affection neurologique identifiable. Critère d'exclusion le plus couramment utilisé : le QI, évalué par un test standardisé passé de façon individuelle, est inférieur à 70.	A. La réalisation des activités de la vie de tous les jours nécessitant une coordination motrice est significativement inférieure à ce qu'on pourrait attendre compte tenu de l'âge chronologique du sujet et de ses capacités intellectuelles. Cela peut se manifester par des retards importants dans les étapes du développement psychomoteur, par le fait de laisser tomber les objets, par une maladresse, par de mauvais résultats sportifs, par une mauvaise écriture. B. La perturbation décrite sous A gêne de façon significative les résultats scolaires ou les tâches de la vie quotidienne. Non dû à une affection somatique connue comme une infirmité motrice cérébrale, une hémiplégie ou une dystrophie musculaire, ne répond pas aux critères d'un trouble envahissant du développement. S'il existe un retard mental, les difficultés motrices dépassent celles habituellement associées à celui-ci.

Figure 1 : tableau des critères diagnostics des classifications CIM-10 et DSM-IV

La classification de l'OMS évoque la spécificité du trouble, que ne reprend pas la classification américaine.

- D'autres auteurs emploient le terme de dyspraxie : dyspraxie développementale et dyspraxie lésionnelle (consécutive à une grande prématurité ou infirmité motrice cérébrale).

Gérard (2005), s'inspirant des recherches en neuropsychologie clinique, donne la définition suivante : « on peut parler de dyspraxie lorsqu'on relève, de façon permanente et durable un déficit significatif dans des performances représentatives de l'action dans ses différents domaines fonctionnels : graphisme, construction sur plan, adaptations posturales, gestes impliquant dans la vie quotidienne les coordinations dites fines » (page 21). Il ajoute que « ce déficit *par lui-même* rend compte de difficultés adaptatives limitant l'autonomie dans la vie quotidienne, la réalisation sociale et la construction d'une image positive de soi » (page 21). Il exclut de cette description toute lésion centrale ou périphérique, tout retard mental ou tout trouble grave du développement de la personnalité qui pourraient expliquer, en amont, les troubles praxiques.

Pour Mazeau (1995), la dyspraxie est due à une absence de programmation et d'intégration des « divers constituants sensori-moteurs et spatiaux-temporels du geste volontaire » (page 67). Contrairement à Gérard, elle n'exclut pas les lésions cérébrales, le handicap moteur ou le retard intellectuel mais elle précise cependant que ces troubles ne doivent pas être les éléments expliquant la dyspraxie.

1.2.2 Hypothèses étiologiques plurielles

Il n'existe pas de consensus sur une définition de la dyspraxie. Nous allons voir que les étiologies sont, de ce fait, plurielles.

1.2.2.1 **Hypothèses étiologiques au niveau de la pensée**

De Ajuriaguerra et coll. (1964) s'appuient sur les travaux de Piaget selon lesquels l'enfant est capable d'évoquer en pensée des actions à partir du moment où il accède à la pensée symbolique (vers l'âge de 18 mois). Piaget différencie deux aspects de cette pensée représentative :

- l'aspect figuratif, qui repose sur : la perception, l'imitation et l'image mentale. Cet aspect figuratif concerne les formes statiques des actions qui sont une reproduction du réel.
- l'aspect opératif qui consiste à modifier un objet ou un événement afin de connaître ses transformations ou le résultat des transformations.

Dans le rôle de l'aspect figuratif, Piaget distingue encore deux types d'opérations auxquelles cet aspect est nécessaire : les opérations logico-mathématiques (qui portent sur les ressemblances et les différences et, à partir de là, sur les mises en relation entre classes) et les opérations spatiales (qui portent sur les emboîtements des différentes parties d'un objet). Piaget souligne alors l'importance de l'image mentale dans le développement des représentations spatiales. Nous reviendrons ultérieurement sur ces aspects.

De Ajuriaguerra et coll. (1964), qui parlent de dyspraxie constructive, ont mis en évidence la déficience du développement de l'aspect figuratif chez les enfants dyspraxiques qu'ils ont observés ; cette déficience serait donc à l'origine des difficultés de cognition spatiale. Ils précisent également que ces enfants ont une intelligence normale mais que certains présentent un tableau affectif très particulier. Selon eux, la motricité de l'enfant se développe et devient une activité symbolique à travers l'évolution de la psycho-motricité. Ils affirment donc que le retard de développement de la fonction motrice peut ainsi entraîner le

retard de développement des fonctions praxiques et gnosiques ou somato-gnosiques. Inversement, un retard de développement des fonctions cognitives peut entraîner un retard de développement de l'organisation gestuelle. Ces explications étiologiques se situant au niveau de la pensée sont jugées aujourd'hui insuffisantes pour expliquer la dyspraxie (Marchal et Quentin, 2006).

1.2.2.2 Hypothèses étiologiques en neurophysiologie

Comme nous l'avons vu précédemment, l'organisation des praxies met en jeu des structures corticales, sous-corticales et périphériques diverses. Certains auteurs pensent que la dyspraxie proviendrait d'un dysfonctionnement d'une structure neurologique précise. Cermak (1985, citée par Lussier et Flessas, 2009) a répertorié les différentes explications neurophysiologiques jusqu'alors évoquées pour expliquer la dyspraxie :

A. Implication des structures sous-corticales : Dans son étude, la moitié des enfants dyspraxiques auraient souffert d'une anoxie à la naissance qui aurait lésé des structures sous-corticales. Lussier et Flessas (2009) évoquent également des études réalisées chez le singe mettant en évidence la destruction de centres du tronc cérébral et de noyaux du thalamus lors d'une privation d'oxygène à la naissance. Ces structures sont impliquées dans les fonctions somato-sensorielles, fréquemment perturbées dans la dyspraxie.

B. Implication des structures lemniscales : Cermak (citée par Lussier et Flessas, 2009) s'appuie sur les travaux de Ayres (1972), qui avait impliqué les afférences tactiles, traitées par la voie lemniscale, pour expliquer la dyspraxie, émettant l'hypothèse d'une pathologie au niveau du cordon dorsal de cette voie lemniscale. Ce cordon dorsal est impliqué à la fois dans la discrimination tactile, la réalisation de séquences gestuelles complexes, la dextérité manuelle, la manipulation dans l'espace et l'attention sélective, l'orientation et l'anticipation.

C. Implication du cervelet : Cermack (citée par Lussier et Flessas, 2009) rapporte une expérience réalisée chez le rat qui démontrerait qu'un sous-développement du cervelet entraînerait une maladresse pathologique. D'autres chercheurs ont ensuite observé la présence d'une maladresse et une dissociation nette entre QI non verbal et QI verbal chez des enfants prématurés dont le cervelet est sous-développé. Mazeau (2006) rapporte les théories cérébelleuses et rappelle l'implication du cervelet à la fois dans la régulation du « timing » du geste, au niveau du déclenchement et du déroulement de ce geste, et aussi dans l'automatisation des apprentissages. De plus, elle souligne que l'hypothèse du rôle d'automatisation des gestes par le cervelet a été confirmée par l'imagerie fonctionnelle (IRMf) qui montre une sous-activation du lobe cérébelleux droit lors d'une tâche d'apprentissage d'une séquence motrice chez des enfants dyspraxiques.

1.2.2.3 Hypothèses étiologiques en neuropsychologie

L'organisation neuropsychologique du geste met en œuvre des processus très divers et chacun peut être isolément défectueux (Mazeau, 2005). Dans le domaine de la neuropsychologie, différentes théories étiologiques de la dyspraxie ont donc été évoquées :

A. Déficits de la planification et de l'exécution : En 1985, Cermack, (citée par Lussier et Flessas, 2009) propose de distinguer deux types de troubles :

- D'une part, des troubles de la planification parmi lesquels elle distingue deux sous-groupes : les troubles de planification primaire (qui correspondraient à une perturbation de l'organisation conceptuelle du geste et impliqueraient les aires cérébrales frontales) et les troubles de la planification secondaire (qui correspondraient plutôt à une désorientation spatiale et à un déficit d'intégration sensorielle, notamment à cause des troubles visuo-perceptuels, et qui impliqueraient cette fois-ci les aires cérébrales pariéto-occipitales).
- D'autre part, des troubles d'exécution motrice. Ainsi, la conceptualisation du geste est possible mais l'exécution d'un ensemble cohérent de mouvements planifiés est perturbée.

B. Déficits de l'intégration sensorielle : D'après Ayres (1972, cité par Lussier et Flessas, 2009), une mauvaise intégration sensorielle des informations extéroceptives (tactiles, visuelles et auditives) et intéroceptives (kinesthésiques, proprioceptives et vestibulaires) pourrait être à l'origine de la dyspraxie. Dans la dyspraxie développementale, ce déficit toucherait plus particulièrement l'intégration des informations tactiles. Pour justifier sa théorie elle cite le fait qu'un enfant dyspraxique ne peut distinguer s'il a été touché au niveau de la main ou du bras sans l'appui visuel. Ce déficit d'intégration sensorielle ne permettrait pas à l'enfant d'activer ensuite le bon schème moteur en réponse à la stimulation.

C. Déficits conceptuels de la connaissance gestuelle : En 1995, Dewey (citée par Lussier et Flessas, 2009) s'est inspirée des travaux de Kaplan (1977) et associe les troubles praxiques aux troubles langagiers en évoquant une comorbidité fréquente. Elle émet ainsi l'hypothèse d'une étiologie commune à la dyspraxie et à la dysphasie, qui atteindrait la conceptualisation symbolique du langage et des gestes. En effet, selon elle, les activités langagières et gestuelles mettent en jeu une symbolisation commune, et cette représentation abstraite pourrait être pathologique.

D. Déficits visuo-spatiaux : Mazeau (1995) a étudié chez l'enfant souffrant d'infirmité motrice cérébrale les troubles neuro-visuels et les répercussions de ces troubles dans le domaine cognitif. Elle a mis en évidence que la plupart des enfants souffrant de dyspraxie lésionnelle présentent également des troubles du regard. Ces troubles du regard sont de trois ordres :

- Le strabisme qui empêche une vision binoculaire, or cette vision binoculaire permet de voir en trois dimensions.
- Une instabilité, voire une impossibilité, des fixations qui ne permet pas à l'enfant « d'arrêter » son regard sur un objet.
- Un défaut de la poursuite oculaire qui se traduit soit par une vitesse trop lente par rapport à la vitesse du stimulus visuel, soit par une désorganisation des saccades.

Mazeau émet deux hypothèses concernant le lien entre les troubles du regard et les troubles de la structuration des notions spatiales :

- Soit ces deux types de troubles ont une origine neuropsychologique commune,
- Soit les troubles de la structuration spatiale sont dus aux troubles du regard car l'enfant, qui normalement s'appuie sur ses expériences quotidiennes (expériences visuelles, stéréognosiques, motrices, auditives, etc.) pour construire sa représentation de l'espace, ne peut, dans le cas présent, s'appuyer sur ses perceptions visuelles.

Ainsi, elle émet l'hypothèse selon laquelle une pathologie du regard pourrait entraîner une certaine forme de dyspraxie. En revanche, elle n'explique pas pourquoi chez deux tiers, voire trois quarts, des enfants dyspraxiques on n'observe aucune corrélation entre l'intensité des troubles visuels et l'intensité des troubles praxiques.

E. Déficiences d'un ensemble de processus : Lussier et Flessas (2009) ont élaboré un modèle qui intègre l'ensemble des théories que nous venons d'évoquer. Selon elles, chacune de ces théories présente un intérêt mais ne peut expliquer à elle seule l'ensemble des troubles observés dans la dyspraxie. Ce modèle est expliqué dans le schéma qui suit.

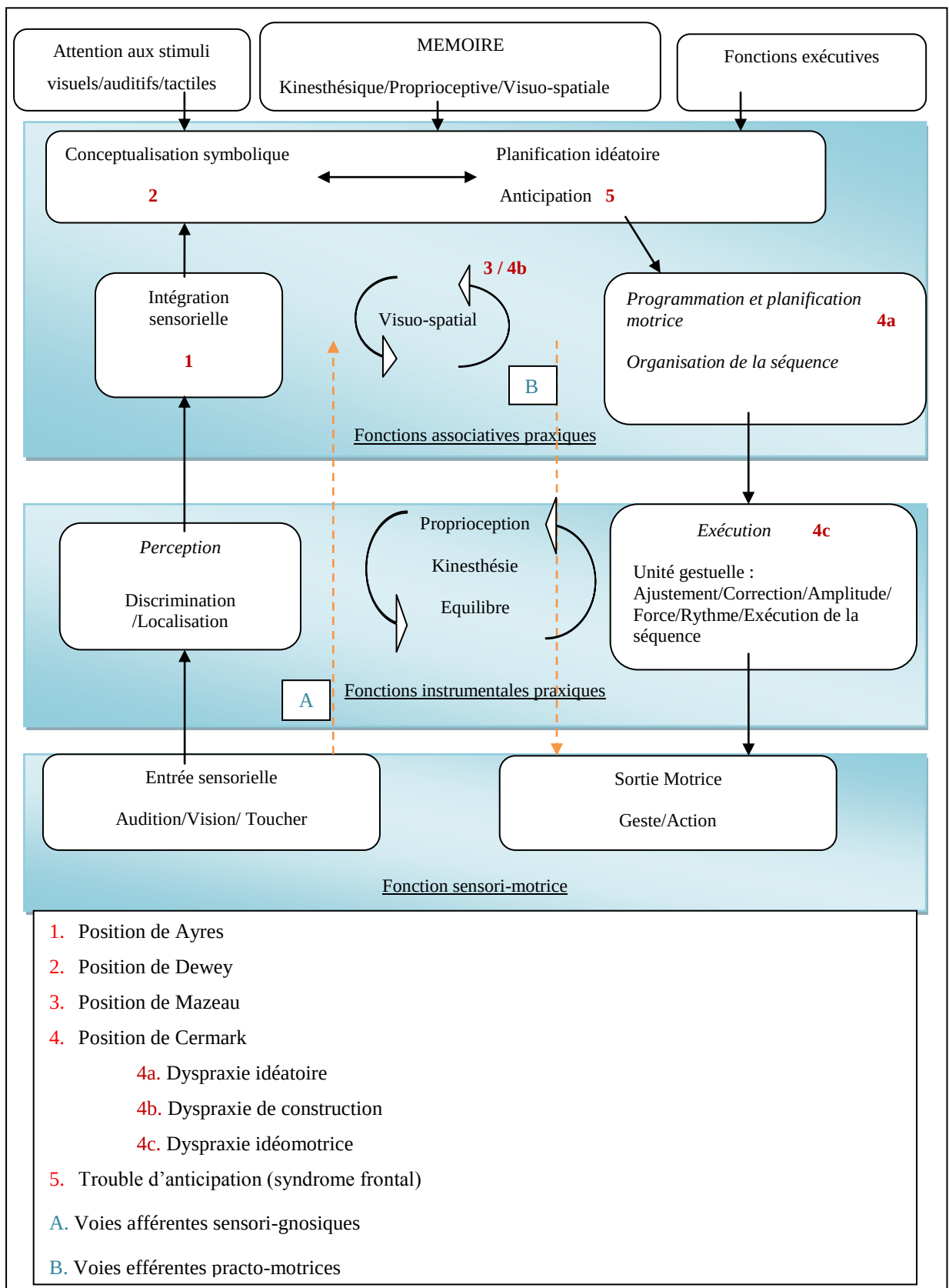


Figure 2 : schéma d'intégration des différents modèles, par Lussier et Flessas (2009), page 273.

Ce schéma montre les différents processus impliqués dans la réalisation motrice et leur interdépendance, depuis l'entrée sensorielle jusqu'à la réponse motrice. Lussier et Flessas ont

intégré les différentes hypothèses étiologiques de la dyspraxie. Avec ce modèle, elles établissent des liens entre chacun des processus et insistent sur la nécessité d'un bilan neuropsychologique précis qui permettra de savoir quels processus sont impliqués dans les troubles observés chez les enfants dyspraxiques que l'on peut rencontrer.

1.2.3 Prévalence

Du fait de l'absence de consensus autour de la dyspraxie, la prévalence du trouble va varier selon les auteurs. S. Franc (2005) et Lussier et Flessas (2009) parviennent cependant à un consensus : la dyspraxie concernerait 6% des enfants dans la tranche d'âge de 5 à 11 ans, chiffres que l'on retrouve dans le DSM-IV.

La dyspraxie développementale serait plus fréquente chez les garçons, de l'ordre de deux garçons pour une fille pour certains auteurs, et de l'ordre de quatre garçons pour une fille pour d'autres (Lussier et Flessas, 2009).

1.2.4 Comorbidités

Franc (2005) met au même niveau les répercussions du trouble et les troubles concomitants. Dans les troubles associés possibles on retrouve donc : un trouble de l'oculomotricité (moins fréquent cependant dans la dyspraxie développementale que chez l'enfant IMC), un trouble des praxies bucco-faciales, un trouble déficitaire de l'attention. Au sujet du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H), elle cite Gilberg (1989) qui évalue l'association d'un TDA/H à 65% des enfants souffrant d'un trouble moteur. Inversement, 50% des enfants souffrant d'un TDA/H présenteraient également un trouble moteur.

Mazeau (2006) associe les fréquents troubles d'apprentissages aux troubles du geste, notamment les dyslexies et les TDA/H.

Xavier et coll. (2006) sont plus réservés et soulignent l'importance de bien différencier les répercussions de la dyspraxie (troubles anxieux, inhibition, échec scolaire...) des troubles associés au syndrome dyspraxique.

Enfin, Gérard (2005) préfère ne pas évoquer de comorbidités. Il considère qu'on ne peut mettre sur un même plan les troubles qui découlent de la dyspraxie (troubles sociaux, scolaires, émotionnels, de l'organisation du jugement), les symptômes de la dyspraxie, et les troubles plutôt psychologiques (trouble envahissant du développement ou trouble d'hyperactivité, par exemple) qui s'expriment par un comportement moteur atypique.

1.2.5 Sémiologies

1.2.5.1 Des troubles hétérogènes

Lussier et Flessas (2009) ont dressé une liste des différents troubles que l'on peut retrouver chez les enfants dyspraxiques, en précisant que ces symptômes varient fortement en fonction de l'âge de l'enfant. Ainsi on peut retrouver :

- De discrètes anomalies neurologiques : troubles de la latéralisation (excès ou déficit), agnosies digitales, déficits graphesthésiques, mauvaise intégration des perceptions tactiles, syncinésies et dysdiadococinésies.
- Des maladresses motrices et des retards d'acquisition concernant la motricité fine (habillage, alimentation, jeux de construction, découpage, graphisme..) et globale (chutes et coups fréquents, acquisitions motrices retardées, comme la marche, le vélo, etc....). Mazeau (2005) précise que les jeunes enfants dyspraxiques se désintéressent rapidement des jeux de construction qui les mettent en échec. Ils apprécient cependant les jeux symboliques ne faisant pas intervenir les compétences praxiques, ils ont un imaginaire riche et cohérent leur permettant de mettre en place des scénarios de jeu très élaborés.
- Des retards de développement de l'articulation et des praxies bucco-faciales, notamment lorsqu'une dyspraxie verbale est associée. Cependant, les enfants

dyspraxiques vont montrer de bonnes compétences de langage et les compétences auditivo-verbales vont servir à compenser les déficits moteurs (Mazeau, 2005).

- Des troubles de perception visuelle : troubles visuo-spatiaux notamment (perception de l'espace et des déplacements) entraînant des difficultés dans l'orientation spatiale.
- Des déficits de perception tactile : mauvaise discrimination de l'objet au toucher et difficultés de localisation d'un stimulus tactile, par hypersensibilité ou hyposensibilité tactile.
- Des difficultés de repérage temporel : surtout au niveau de la conscience du temps écoulé et de la durée d'une action.
- Un déficit important dans la construction du schéma corporel : ce dernier se construit difficilement du fait des difficultés d'interprétation des informations visuo-spatiales, proprioceptives et vestibulaires.

1.2.5.2 Des tableaux variés

Xavier et coll. (2006) parlent du « polymorphisme » des tableaux cliniques de la dyspraxie. Selon Marchal et Quentin (2006), il n'existe pas une dyspraxie mais des dyspraxiques avec des tableaux très divers ; ils affirment que décrire la dyspraxie ne se résume pas à évoquer un QI verbal supérieur à un QI non verbal, dissociation qui de plus n'est pas pathognomonique au syndrome dyspraxique. Notons que Lussier et Flessas (2009) n'évoquent pas cette dissociation entre QI verbal et QI performance dans leur description des dyspraxies. De la même façon, Meneguzzi et Barbeau (2005) s'appuient sur les travaux de Dewey (1995) et décrivent des tableaux dyspraxiques variés, sans dissociation massive entre QI verbal et QI performance.

Les différents troubles répertoriés par Lussier et Flessas (vu précédemment) peuvent être observés dans un syndrome dyspraxique à des degrés différents ; cela donne donc naissance à des tableaux dyspraxiques variés. De même que les différents auteurs s'intéressant à la dyspraxie ne s'accordent pas sur la définition et sur l'étiologie de la dyspraxie, ils ont établi des classifications en fonction de leurs convictions cliniques et théoriques. Le modèle intégratif de Lussier et Flessas (2009), vu page 27, fait la synthèse des différentes

classifications existant à ce jour. Nous détaillerons ici les classifications françaises de Mazeau (1995) puis de Gérard et Dugas (1991, in « Le concept de dyspraxies », Gérard, 2005).

A. Classification de Mazeau :

Mazeau (1995) s'est essentiellement intéressée aux dyspraxies dans le cadre d'une lésion cérébrale. Les difficultés observées ne sont donc pas toujours identiques à celles observées dans le cadre d'une dyspraxie développementale. Ainsi elle décrit quatre grands types de dyspraxies :

- **Dyspraxie constructive visuo-spatiale.** La dyspraxie constructive visuo-spatiale est la dyspraxie qu'elle a le plus souvent observée chez les enfants souffrant de lésions cérébrales. Ils sont très en difficulté dans des tâches d'assemblage entre divers éléments. A l'origine de cette dyspraxie elle place les troubles neurovisuels (strabisme, instabilité des fixations et désorganisation des saccades et de la poursuite oculaire).
- **Dyspraxie constructive non visuo-spatiale.** Elle place dans cette catégorie les enfants ayant de grandes difficultés dans les tâches d'assemblage mais pour lesquels on ne retrouve pas de troubles du regard ou de difficultés de la structuration spatiale. Ces enfants présentent : des troubles des praxies constructives, une indistinction de la gauche et de la droite, une agnosie digitale.
- **Dyspraxies non constructives :** dyspraxie idéatoire et dyspraxie idéomotrice. Ces dyspraxies concernent les enfants souffrant de difficultés dans la successivité et la séquentialité des différents mouvements constituant le geste. Issues de la neuropsychologie adulte les notions de praxies idéatoires et idéomotrices renvoient à la nature des gestes. Ainsi, les praxies idéatoires sont les praxies d'utilisation d'objets et les praxies idéomotrices sont relatives aux gestes n'impliquant pas la manipulation d'objets réels, autrement dits gestes intransitifs.

- **Dyspraxie de l'habillage.** Selon Mazeau, cette dyspraxie est très fréquente. Elle se traduit par une extrême lenteur à l'habillage, par des confusions de sens des vêtements, voire par une mauvaise reconnaissance des différents vêtements.

B. Classification de Gérard et Dugas :

Gérard et Dugas (1991, in « Le concept de dyspraxies », Gérard, 2005) ont tenté de théoriser une première classification des dyspraxies en s'inspirant des théories étiologiques issues de la neuropsychologie cognitive et de la psychologie génétique. Ils ont ainsi distingué trois types de dyspraxies :

- **Les dyspraxies de type 1 :** le trouble affecte de façon peu dissociée les postures, la coordination manuelle et l'articulation. Ce trouble ne touche cependant pas le domaine de la pensée.
- **Les dyspraxies de type 2 :** le trouble affecte la pensée empêchant la mise en place d'une représentation mentale du monde physique.
- **Les dyspraxies de type 3 :** le trouble affecte le contrôle exécutif de l'action.

Cette classification intègre cependant les théories de la psychologie génétique, théories qui ont, par la suite, donné naissance à une description spectrale des symptômes et qui ne suffisent pas, selon ces auteurs, pour définir un réel syndrome. Gérard et Dugas ont alors complété cette classification en précisant que les troubles observés doivent être « *spécifiques, durables et permanents et ne peuvent être expliqués par d'autres affections* ».

1.2.6 Diagnostic

1.2.6.1 **L'enjeu du diagnostic**

Un diagnostic de dyspraxie, comme tout diagnostic de « trouble spécifique des apprentissages », rassure les parents car il sous-entend une normalité de l'intelligence ; ils pensent ainsi que le regard porté sur l'enfant va être modifié (Marchal et Quentin, 2006).

Mais l'enjeu du diagnostic, au-delà du regard porté sur l'enfant, concerne la mise en place dès l'annonce du diagnostic de prises en charge adaptées (psychomotricité, ergothérapie, orthoptie, orthophonie, psychothérapie...) et la mise à disposition d'aménagements scolaires (ordinateur, logiciels de lecture ou de géométrie par exemple, réglette algorithmique, exercices de lecture adaptés, caches, tiers-temps supplémentaire aux examens...) (Franc, 2005). Il faut alors évaluer avec l'enfant et sa famille les conséquences fonctionnelles et instrumentales du trouble et décider des besoins immédiats.

1.2.6.2 **A l'origine du diagnostic**

Le diagnostic peut être précoce. En effet, soit l'enfant présente des facteurs de risque (prématurité, faible poids de naissance, infirmité motrice cérébrale) qui retiendront l'attention des professionnels et des parents, soit les difficultés praxiques s'accompagnent de signes évocateurs marquants, tels que des troubles des praxies bucco-faciales et un trouble massif d'articulation.

Le diagnostic peut être plus tardif lorsque la plainte est d'abord scolaire (Marchal et Quentin, 2006). En effet, c'est le retentissement de la dyspraxie sur les apprentissages scolaires, surtout au cours de la deuxième année du cours élémentaire (Meneguzzi et Barbeau, 2005), qui permettra de suspecter une dyspraxie. S. Franc (2005) souligne que devant une plainte axée essentiellement sur les difficultés scolaires il faut parfois rechercher un trouble dyspraxique à l'origine des difficultés.

1.2.6.3 La démarche diagnostique

L'évaluation en vue de poser un diagnostic de dyspraxie doit se faire en équipe pluridisciplinaire. Selon Gérard (2005), il est important de prendre en compte un ensemble de données et ces données doivent être recueillies par le médecin. Ce diagnostic doit reposer sur une démarche clinique précise consistant à recueillir différents éléments : anamnèse, sémiologie précise des troubles (afin de replacer ceux-ci dans le développement de l'enfant), et examens neuropsychologiques (précisant l'existence d'une base structurelle aux troubles moteurs).

Il s'agira donc de :

- Faire un diagnostic différentiel, afin d'éliminer une pathologie qui pourrait être à l'origine des troubles moteurs,
- Recueillir les éléments en faveur d'une dyspraxie.

A. Diagnostics différentiels :

Il est indispensable, lorsqu'on suspecte une dyspraxie, d'éliminer tout autre diagnostic qui pourrait être à l'origine de déficits moteurs. En cas de doute il est donc nécessaire de procéder à certains examens :

- Un examen neurologique : afin de rechercher des anomalies neurologiques mineures et d'éliminer une maladie neurodégénérative, une myopathie, un syndrome cérébelleux, une infirmité motrice cérébrale, une neurofibromatose, une dystrophie ou encore des séquelles de traumatisme crânien (Franc, 2005).
- Un examen psychiatrique : afin d'éliminer un trouble envahissant du développement, un trouble psychoaffectif ou un retard mental. Lors de cet examen il faut savoir distinguer les difficultés psychologiques qui découlent de la dyspraxie de troubles psychopathologiques primaires (Marchal et Quentin, 2006).
- Un examen sensoriel : afin d'éliminer une pathologie sensorielle à l'origine des troubles moteurs.

B. Diagnostic positif :

Tous les auteurs s'accordent sur le fait que le bilan doit comporter des données quantitatives et des données qualitatives (Mazeau, 1995, Franc, 2005, Marchal et Quentin, 2006 et Lussier et Flessas, 2009).

Les données quantitatives permettent d'objectiver la pathologie et de vérifier les compétences intellectuelles de l'enfant. Elles sont recueillies lors d'un bilan neuropsychologique grâce à des tests psychométriques étalonnés (WISC, WPPSI, par exemple). Ce bilan permet d'évaluer le niveau et le degré des difficultés : si les difficultés observées sont homogènes, on pensera alors à un retard global ou bien une déficience intellectuelle globale ; si les résultats entre le QI verbal et le QI performance sont hétérogènes, il faudra alors s'interroger sur une possible dyspraxie, mais rappelons toutefois que la dissociation entre le QI verbal et le QI performance n'est pas significative (Marchal et Quentin, 2006, Franc 2005). Ce bilan neuropsychologique peut également révéler des troubles associés, un déficit attentionnel par exemple.

En fonction des éléments cognitifs relevés au cours des épreuves psychométriques et durant l'entretien avec l'enfant et sa famille, différents bilans seront proposés. Les professionnels s'intéresseront aux données quantitatives mais surtout aux données qualitatives : comment l'enfant réalise-t-il les épreuves proposées ?

Les différents bilans qui peuvent être réalisés sont les suivants :

- **Un bilan psychomoteur** qui évaluera la motricité globale, le schéma corporel, la qualité de préhension et la réalisation des praxies.

Lussier et Flessas (2009) dressent une liste des différentes capacités évaluées :

- Evaluation de la latéralité.
- Evaluation des capacités de coordinations (uni-manuelle, bi-manuelle et en alternance droite/gauche).
- Test de l'intégration visuo-spatiale et motrice (orienter sa main en fonction d'un trou pour encastrer une vis).
- Evaluation des praxies constructives (tâches d'encastrement, de reproduction de figures géométriques, reproduction d'une figure complexe type figure de Rey...).

- Evaluation des performances grapho-motrices (préhension du crayon, force de pression exercée sur celui-ci, coordination oculo-manuelle, qualité et vitesse d'écriture).
 - Evaluation de l'orientation spatiale.
- **Un bilan orthoptique** qui évaluera la motricité oculaire (fixation, organisation de la poursuite oculaire, capacités d'exploration par le calibrage du balayage et des saccades) et l'attention spatiale. Mazeau (1995) rappelle qu'un bilan ophtalmologique doit précéder ce bilan afin de préciser l'acuité visuelle. Elle précise également que le bilan orthoptique peut être complété par un bilan des gnosies visuelles en cas de doute sur les capacités de reconnaissance visuelle.
- **Un bilan orthophonique :**
- D'une part l'orthophoniste proposera un examen de l'articulation et du langage. Celui-ci comprendra : un examen des praxies bucco-faciales, de l'articulation, ainsi que des épreuves de phonologie et de rythmes afin d'évaluer une éventuelle dyspraxie verbale (l'épreuve des rythmes est souvent échouée, Franc, 2005). Il évaluera également l'accès au lexique. En effet, l'enfant dyspraxique a souvent un bon niveau de lexique mais on retrouve parfois un trouble de l'évocation et une difficulté à donner des définitions du fait de l'inconsistance des concepts, mal définis sur les versants temporels et spatiaux (Franc, 2005). Un examen de la compréhension du lexique relatif à l'espace et au temps peut également être intéressant.
- D'autre part, il pourra proposer un bilan de langage écrit et/ou un bilan logico-mathématique afin d'évaluer les répercussions spécifiques au trouble dyspraxique sur les apprentissages scolaires. Nous détaillerons ces répercussions ultérieurement.
- **Des bilans complémentaires** peuvent être demandés afin d'évaluer les troubles associés.

Le premier entretien et le bilan neuropsychologique orientent les thérapeutes dans leurs bilans respectifs. C'est en rassemblant ces données que le diagnostic pourra être posé ou réfuté.

1.2.7 Répercussions

1.2.7.1 **Impact de la dyspraxie sur le développement psychologique**

La dyspraxie peut entraîner une souffrance psychoaffective nécessitant une prise en charge en psychothérapie (Gaie, 2006). Dans son article, Gaie développe deux aspects des troubles psychiques qui peuvent être présents dans la dyspraxie :

- Les répercussions sur le plan psychologique de la perturbation du schéma corporel, qui ne permettraient pas à l'enfant de se constituer une image suffisamment sécurisée de son propre corps, entraînant une angoisse particulière et la mise en place de certains mécanismes de défense.
- Ces mécanismes de défense mis en place pour lutter contre l'angoisse : l'enfant dyspraxique se trouve très tôt en difficulté dans sa motricité et va ainsi être confronté au décalage entre ses compétences de compréhension et ses capacités d'agir. Ceci entraînera une dévalorisation et une perturbation de l'image de soi. L'enfant va nier ses difficultés et ce déni ne va pas lui permettre de se constituer un espace symbolique nécessaire au déploiement de la créativité sur les plans cognitif et psychoaffectif.

Xavier et coll. (2006) analysent les répercussions de la dyspraxie sur les relations de l'enfant avec ses pairs et observent souvent des difficultés d'intégration, une tendance au repli et à l'isolement. Les troubles praxiques et les troubles associés (troubles du langage oral et/ou écrit, troubles attentionnels, troubles des interactions sociales) affectent l'enfant dans l'image qu'il a de lui-même générant des troubles anxieux et des symptômes dépressifs. Si ce trouble se traduit plutôt du côté de l'inhibition durant l'enfance, il peut parfois s'exprimer durant l'adolescence du côté de l'agressivité, de l'opposition et de la révolte.

Lussier et Flessas (2009) évoquent également une faible tolérance à la frustration chez ces enfants, développée suite aux incapacités multiples à réaliser les mêmes activités que leurs pairs. Elles mentionnent également le sentiment d'insécurité et la grande dépendance à l'adulte, consécutifs aux attitudes de surprotection que peuvent avoir les parents et l'entourage.

1.2.7.2 Dyspraxie et troubles des apprentissages

Les enfants dyspraxiques rencontrent souvent des difficultés au niveau des apprentissages scolaires : soit les difficultés découlent directement de la dyspraxie (graphisme, aspects visuo-spatiaux, lenteur...) soit elles sont plutôt liées aux troubles associés à la dyspraxie (TDA/H par exemple). Les trois apprentissages particulièrement difficiles pour les enfants dyspraxiques sont la mise en place du graphisme, de la lecture et de l'orthographe et l'acquisition des mathématiques.

A. Le graphisme :

Dès les premières classes de maternelle les enfants dyspraxiques sont en difficulté dans les activités graphiques et les activités nécessitant des manipulations (encastrement, découpage, collage, etc.). La pauvreté et la déstructuration des dessins peuvent être des signes d'appel précoces (Meneguzzi et Barbeau, 2005). Le discours de l'enfant qui accompagne le dessin permet de voir que le projet de l'enfant ne correspond pas à ce qui est réellement dessiné (dessin pauvre, déstructuré, maladroit mais qui représente réellement quelque chose pour l'enfant). Selon Mazeau (1995), on retrouve un retard graphique, d'intensité variable, chez tous les enfants dyspraxiques.

A partir de 6 ans, lorsque l'enfant entre à l'école primaire, les troubles graphiques sont de plus en plus handicapants. Dans le cadre de la dyspraxie, Mazeau (1995) appelle les troubles de l'écriture *dysgraphie dyspraxique* pour bien les différencier des autres dysgraphies qui constituent un simple retard. Selon Le Lostec (2006), le tracé des lettres (la calligraphie) ne s'automatise jamais chez l'enfant dyspraxique ; il nécessite, en effet, un contrôle volontaire et attentionnel permanent. De plus, l'écriture de l'enfant dyspraxique restera très variable et on ne retrouvera pas les mêmes « déformations » d'un écrit à l'autre. Les difficultés

constructives rendent particulièrement compliquée la mise en place de l'écriture en cursive, l'enfant ne parvenant pas à lier les différents éléments entre eux (Mazeau, 1995).

Selon Mazeau (1995), il peut exister différents niveaux de troubles dysgraphiques allant d'une simple lenteur à une incapacité de tracer une lettre. Elle a dressé une liste des caractéristiques d'écriture d'un enfant dyspraxique :

- Instabilité des productions
- Aggravation en copie
- Ecriture dans un sens ou dans l'autre indifféremment
- Lettres en miroir
- Inversions et oublis de lettres

B. La lecture et l'orthographe :

Mazeau (1995) décrit les conséquences des troubles neurovisuels et visuo-spatiaux sur l'acquisition de la lecture et de l'orthographe. Les pathologies du regard (instabilité des fixations et désorganisation des saccades et de la poursuite oculaire) dont souffrent certains enfants dyspraxiques ne permettent pas une prise d'informations suffisante des stimuli visuels et empêchent l'accès correct à la lecture. Ces enfants sont en général performants dans les premières acquisitions qui concernent essentiellement la phonologie. Les tâches deviennent plus difficiles lorsqu'il s'agit de déchiffrer un mot. Alexis et coll. (2006), Mazeau (1995) et Assali-Dalens (2006) observent des troubles visuo-attentionnels dans le cadre de la dyspraxie. Ils font un lien avec les difficultés rencontrées par les enfants souffrant d'une dyslexie visuo-attentionnelle et s'interrogent sur la prévalence d'une telle comorbidité.

C. Les mathématiques

Nous ne développerons pas ici les difficultés en mathématiques rencontrées par les enfants dyspraxiques. Nous y reviendrons en effet de façon plus détaillée dans la troisième partie (page 79). Nous verrons que l'ensemble des auteurs s'accorde sur le fait que les difficultés en mathématiques émanent essentiellement des aspects spatiaux présents dans cette discipline : dénombrement, numération, calcul, pose des opérations, géométrie...

Voyons maintenant comment se déroule l'apprentissage des mathématiques chez l'enfant. Nous étudierons ensuite les difficultés rencontrées au cours de cet apprentissage par les enfants de la population générale.

Partie 2 : Le trouble spécifique de l'apprentissage des mathématiques

Nous allons voir, dans un premier temps, les différentes théories sur le développement de l'intelligence et la mise en place des apprentissages chez l'enfant avant de nous intéresser à l'apprentissage spécifique des mathématiques.

2.1 Etude du développement des apprentissages de l'enfant

2.1.1 Rappels historiques

Nous avons vu en introduction que Piaget (1896-1980) fut le premier, dans les années 60, à parler du développement du raisonnement logique chez l'enfant. Avant lui, les chercheurs se sont intéressés au développement de la pensée. Depuis les travaux de Darwin (1809-1882), ils ont progressivement mis en place une méthodologie d'observation : partant de l'observation clinique, ils ont tenté de quantifier les données en établissant des grilles puis des échelles d'observation du développement de l'enfant (Bideaud et coll., 1993). A. Binet (1857-1911) a mis au point la première échelle d'intelligence. On parle désormais de l'intelligence de l'enfant, intelligence alors décrite en fonction d'aspects scolaires. Piaget décrit donc le développement du raisonnement logique. Freud (1856-1939) quant à lui parle du développement affectif. D'autres auteurs tentent une approche plus globale pour décrire le développement affectif et intellectuel de l'enfant et en étudient les retentissements sur les apprentissages. Ainsi, Vygotski (1896-1934) étudie le développement de l'intelligence en considérant l'environnement social et culturel de l'enfant et décrit la « zone proximale de développement », sur laquelle nous reviendrons ultérieurement. Bruner s'est inspiré à la fois des théories de Piaget et de Vygotski pour théoriser sa conception du développement de l'intelligence (Troade et Martinot, 2003). Le courant behavioriste s'est également intéressé aux théories de l'apprentissage par conditionnement. Enfin, les cognitivistes, aujourd'hui, s'intéressent au traitement de l'information et définissent l'intelligence de l'enfant et ses capacités d'apprentissage en s'appuyant notamment sur les théories de l'attention et de la mémoire.

2.1.2 Principales théories sur le développement intellectuel de l'enfant

2.1.2.1 Théorie de l'épistémologie génétique : J. Piaget

Le terme d'épistémologie génétique désigne l'étude de la genèse et du développement de la connaissance.

Piaget (1967) s'est intéressé au développement de l'intelligence. Il fut le premier à décrire notamment l'acquisition de la pensée logique chez l'enfant. Même si certaines des notions qu'il a mises à jour sont aujourd'hui discutées, toutes les théories actuelles concernant le développement des structures logiques s'appuient sur ses découvertes.

A. Les trois stades de développement :

Piaget (1967) cite Claparède pour décrire l'intelligence qu'il définit comme « une adaptation mentale aux circonstances nouvelles ». Il définit donc l'intelligence comme « une recherche d'équilibre » ; cette recherche est réalisée par l'isolement puis la combinaison des données spatiales et temporelles. La perception en elle-même n'est pas un acte d'intelligence selon lui, c'est l'acte réalisé à partir de ces données perceptives qui pourra faire preuve d'intelligence. Piaget situe l'acte d'intelligence fondamental chez l'enfant dans la recherche d'un objet caché. En effet, l'enfant dépasse la perception immédiate de l'objet qui n'est plus à portée de sa vue et peut engager une recherche de cet objet.

Piaget a décrit le développement de l'intelligence selon trois stades, chaque stade tendant à rétablir un équilibre. L'équilibre final correspond à l'acquisition de la pensée logique opératoire formelle, les éléments de pensée sont alors intériorisés, le sujet peut opérer, peut manipuler les données spatiales et temporelles sans manipulation réelle de matériel concret. Ces trois stades, caractérisés chacun par un groupement d'opérations logico-mathématiques, apparaissent dans un ordre immuable malgré des rythmes différents en fonction des enfants (accélérations ou retards). Il n'y a pas de retour possible (quand l'enfant atteint un stade il ne peut revenir à un stade antérieur) et les éléments du stade précédent sont

totallement intégrés au stade supérieur (Troadec et Martinot, 2003). Trois conditions sont nécessaires pour que l'on puisse parler de stade : tout d'abord, les acquisitions se font dans un ordre irréversible, ensuite, chaque stade intègre le niveau précédent et enfin, chaque stade présente une première phase de préparation et une phase d'achèvement (Gouin Décarie et Ricard, 2000).

Ces stades sont les suivants :

- **Stade sensori-moteur** (de la naissance jusqu'à 18 mois environ) : à ce stade, selon Piaget, on ne peut pas encore parler d'intelligence, l'enfant opérant sur le réel et non en pensée. En effet, l'enfant acquiert des habitudes motrices : il répond par une action à une perception mais cette activité reste réflexe et n'est pas encore réellement pensée. Ce stade repose donc uniquement sur la perception à laquelle l'enfant répond par une action.
- **Stade des opérations concrètes** (de 18 mois à 11/12 ans environ) : au dernier niveau du stade sensori-moteur, l'enfant commence à élaborer des représentations mentales. Au stade des opérations concrètes, cela s'intensifie et l'enfant est capable d'opérer mentalement, c'est-à-dire de se libérer des données spatiales et temporelles immédiates, c'est le développement de la pensée conceptuelle, dite opératoire. Cette mentalisation des opérations est possible par l'accès au symbolique. La pensée symbolique permet de distinguer signifiant et signifié (idée développée par Saussure) et permet donc d'évoquer un objet en son absence par le langage, le dessin, l'image mentale, l'imitation différée ou encore le jeu symbolique (Golse, 2001). Ce stade est divisé en trois niveaux :
 - Le premier niveau (entre 2 et 4 ans) correspond au développement de la pensée symbolique. Piaget ne parle pas encore de concepts mais plutôt de « pré-concepts ». Il signifie ainsi que l'enfant, d'une part, n'a pas encore accès aux classes générales et, d'autre part, n'a pas encore acquis la permanence d'un objet (donc les éléments d'une classe générale) lorsque celui-ci n'est pas directement perceptible dans l'espace et le temps.
 - Le second niveau (entre 4 et 7/8 ans) correspond à la mise en place de la pensée pré-opératoire. Piaget démontre que l'enfant modifie sa façon de raisonner à partir de 4 ans car on peut, dès lors, proposer à ces enfants des épreuves de raisonnement. Pour raisonner, l'enfant s'appuie toujours sur les

données perceptives et il n'est capable de prendre en compte qu'une seule donnée à la fois ; Piaget parle alors d'intuition simple. Afin de mettre ceci en évidence, il propose à l'enfant de disposer un même nombre de perles dans deux verres de formes différentes : l'enfant prendra alors en considération soit la hauteur, soit la largeur du verre pour argumenter qu'il y a plus ou moins de perles dans tel ou tel verre. L'enfant est donc encore très égo-centré et s'appuie essentiellement sur le perceptif. Il prendra progressivement de la distance face aux données temporelles et spatiales.

- Durant le troisième niveau (entre 7/8 ans et 11/12 ans), les opérations concrètes se mettent en place. Dès lors l'enfant peut prendre en compte deux données à la fois pour asseoir son raisonnement ; Piaget parle alors d'intuition articulée. La décentration devient possible et l'enfant a alors accès à de nouveaux modes de pensée : la réversibilité, la composition transitive et l'associativité. Ce niveau est, en effet, marqué par l'enrichissement des points de vue : l'enfant accède à la réversibilité (une action peut être annulée en pensée par une action inverse), à la composition transitive (deux actions successives deviennent une seule action par la coordination), à l'associativité (il peut exister plusieurs façons d'accéder à un même résultat) et à l'identité générale (le retour au point initial après une transformation est possible) ou spéciale (un nombre ajouté à lui-même devient un nouveau nombre, pour tout autre élément il n'y a pas de transformation lorsqu'il est ajouté à lui-même ; Piaget appelle tautologie cette identité spéciale). Les structures logiques (classes et relations) se mettent en place, l'enfant acquiert également la conservation des quantités discontinues, de la substance, des longueurs, du poids. Selon Piaget et Inhelder (1959), ces acquisitions logico-mathématiques permettent à l'enfant d'accéder à la notion de nombre. Nous reviendrons ultérieurement sur ces acquisitions.

- **Stade des opérations formelles** (de 11/12 ans à 14/16 ans environ). Ce stade correspond à l'apparition du raisonnement hypothético-déductif. L'enfant devient capable de raisonner et de formuler des hypothèses en pensée, en dehors de tout matériel concret (dans l'espace et le temps).

B. Définitions :

La théorie de Piaget est une théorie structuraliste ; il décrit en effet le développement de l'intelligence par une succession d'étapes qui se construisent et forment une structure. Chaque nouvelle structure entraîne le passage à un stade supérieur. Pour élaborer cette description en stades de développement, Piaget s'appuie sur l'idée que l'intelligence est une recherche d'équilibre entre le milieu et l'organisme : chaque nouvelle acquisition perturbe l'équilibre initial et nécessite un rééquilibrage, c'est là que se constitue la succession des stades de développement. Piaget parle d'un « équilibre entre les actions de l'organisme sur le milieu et les actions inverses » ; ces actions sont complémentaires et sont appelées assimilation et accommodation.

- **Le schème** est une structure d'actions. Cette structure d'actions est répétée à chaque rencontre avec un objet analogue à l'objet initial sur lequel s'est exercé le schème d'action originel. Les premiers schèmes sont les schèmes réflexes du nouveau-né, puis les schèmes, au cours du développement, se généralisent et se complexifient du fait de l'assimilation (Troade et Martinot, 2003).
- **L'assimilation** correspond aux effets de l'organisme sur le milieu. Comme nous l'avons vu dans la description des stades, ces actions, ou schèmes, reposent sur la perception et la motricité et peuvent être réels (manipulation) ou conceptuels (exercés en pensée). L'action et son résultat sont alors assimilés par l'organisme et de nouveaux schèmes sont intégrés aux précédents.
- **L'accommodation** désigne les effets du milieu sur l'organisme. Elle résulte donc de l'assimilation. Le sujet va exercer une action sur son milieu, cette action et son résultat vont être assimilés et l'organisme va se modifier. Il y a alors une accommodation de l'organisme.

- **L'équilibration** est recherchée dans chaque groupement entre l'assimilation et l'accommodation. L'acquisition d'un nouveau schème crée un déséquilibre ; c'est la recherche de rééquilibre qui constitue l'acte d'intelligence. Le développement de chaque structure tend à atteindre un état d'équilibre final.

C. Le développement des catégories :

Nous l'avons vu, l'enfant au contact du monde extérieur manipule, observe, expérimente et développe ainsi son intelligence. Il prend progressivement de la distance par rapport à ses observations et met les différents éléments en relation. Les objets sont alors pensés autrement et des catégories (ou concepts généraux) se forment, désignant un mode de relation. Ces catégories sont les conservations, les structures logiques et la construction du nombre.

- **Les conservations** sont le résultat d'une recherche d'invariants (l'objet reste le même malgré les manipulations et les transformations). La première conservation apparaît vers l'âge de 2 ans avec la permanence de l'objet. En effet, l'enfant a alors construit une image mentale unifiée de l'objet qu'il recherche lorsque celui-ci est caché. Vers 6-7 ans, après avoir expérimenté et acquis la correspondance terme à terme des éléments de la collection, l'enfant va accéder à la conservation des quantités discontinues. Puis l'enfant acquiert progressivement la conservation d'éléments continus : conservation des longueurs (vers 7 ans), conservation de la substance (vers 7-8 ans), conservation du poids (vers 9-10 ans) et conservation du volume (vers 11-12 ans).
- **Les structures logiques** correspondent à l'inclusion des classes et à la sériation. Pour cela, l'enfant doit être capable d'isoler des critères de ressemblance et de différence des objets. Puis l'enfant apprendra petit à petit à classer et à sérier, en même temps qu'il se décentre progressivement des données perceptives immédiates. L'acquisition du principe de **classification** s'élabore en trois étapes successives (Piaget et Inhelder, cités par Troadec et Martinot, 2003). Dans un premier temps

(entre 2 ans et 4-5 ans environ), l'enfant dispose les éléments en élaborant une structure spatiale représentative (par exemple, il va faire une maison avec un carré et un triangle de bois). Au deuxième niveau, les données perceptives sont toujours très importantes pour l'enfant, c'est le stade encore pré-opératoire. Il parvient alors à distinguer des ressemblances et des différences entre les objets mais il n'y a pas encore d'inclusion des classes ou de sériation, les éléments sont simplement juxtaposés. Nous avons vu précédemment que l'enfant ne peut encore prendre en compte qu'une seule donnée perceptive (soit la partie, soit le tout). De la même façon, il va opérer soit par des procédés ascendants (réunir des petites collections en une collection plus grande) soit par des procédés descendants (construire des petites collections à partir d'une plus grande). Enfin, l'enfant (vers 7-8 ans) parvient à abstraire et à généraliser les données et la réversibilité est également possible (une action peut être annulée par une action inverse). Il combine donc les procédés ascendants et descendants et il parvient à la classification des collections. Chez Piaget (1977), l'abstraction correspond à la possibilité de déterminer un critère commun à différents éléments et ainsi pouvoir constituer une classe de ces éléments. Le niveau suprême du principe de classification est la possibilité de l'**inclusion** des classes. L'enfant accède alors à la compréhension du principe d'inclusion (par exemple qu'il y a plus de fleurs que de marguerites dans un bouquet composé de marguerites et de violettes car les marguerites sont des fleurs) et il a accès au principe d'extension des collections. Pour la **sériation**, Piaget distingue encore trois niveaux d'acquisition (Golse, 2001) :

- Le premier niveau est caractérisé par l'échec : l'enfant est incapable de procéder à une sériation.
- Puis il parvient, en tâtonnant, à sérier les éléments mais il ne peut inclure de nouveaux éléments dans sa sériation sans tout défaire.
- Enfin, l'enfant peut sérier les éléments et en inclure de nouveaux car sa pensée est opératoire et il a accès à la réversibilité (un élément est à la fois plus petit que le précédent et plus grand que le suivant).

Pour Piaget (1977), l'abstraction réfléchissante est la capacité de l'enfant à faire des liens entre ce qu'il perçoit du résultat de ses actions et ses connaissances antérieures. Il s'agit d'un acte mental par lequel il réorganise ses connaissances. Cette compétence est constitutive de l'intelligence logico-mathématique.

- **La construction du nombre** est possible à partir du moment où l'enfant a accès à la classification et à la sériation. En effet, avant cela, s'il connaît la comptine numérique, il n'a cependant pas encore la notion de ce que représente le nombre. A partir du moment où il maîtrise les principes de sériation et de classification il peut alors concevoir le nombre comme étant une synthèse du principe de sériation (série de nombres dans la comptine numérique) et du principe d'inclusion (1 est inclus dans 2, 2 dans 3, etc.). Piaget et Inhelder (1959) expliquent que deux systèmes logiques du nombre se construisent alors : le système ordinal (sérialisation des nombres) et le système cardinal (inclusion des nombres).

2.1.2.2 Quelques théories de la psychologie du développement après Piaget :

A. Wallon :

Selon Wallon (cité par Bideaud et coll., 1993) la prise en compte du milieu (à la fois milieu biologique et milieu social) est indispensable dans l'étude du développement de l'enfant, le milieu ayant une influence forte sur le développement. Il considère donc le développement global de l'enfant en étudiant le développement de la cognition, de l'affectivité et le développement social. Comme Piaget, il élabore une conception en stades ; ces stades comprennent des modifications de rythmes, des accélérations, des oscillations, des crises, voire des changements plus radicaux. Ces stades sont d'inspiration piagétienne (stade d'impulsivité motrice, stade sensori-moteur, stade catégoriel...) mais également d'inspiration psychanalytique (stade émotionnel, stade du personnalisme par exemple).

B. Vygotski :

Vygotski (1997), dans l'introduction de son ouvrage *Pensée et langage*, s'oppose à certains points de la théorie de Piaget. En effet, si Piaget privilégie les interactions de l'enfant avec son environnement physique, Vygotski privilégie les interactions avec l'environnement social (Laval, 2002). La théorie la plus connue de Vygotski est la théorie de la « zone proximale de développement ». Dans les apprentissages de l'enfant deux aspects se distinguent :

- d'une part, il y a ce que l'enfant sait faire, ce qu'il maîtrise seul,

- d'autre part, il y a ce que l'enfant peut faire avec l'aide d'un adulte.

La « zone proximale de développement » désigne donc la zone intermédiaire de développement potentiel, là où se réalisent les processus développementaux dans l'interaction d'abord, puis de façon autonome. Le rôle de l'adulte lors des apprentissages est d'être un médiateur de la culture (Laval, 2002), il médiatise la relation de l'enfant au monde extérieur, il le guide et l'accompagne (Crahay, 1999). L'enfant intériorise donc progressivement des *instruments psychologiques* qui sont les outils culturels mis à disposition par l'adulte et dont le langage et les nombres font partie. L'enfant s'approprie ainsi sa culture et devient à son tour médiateur de cette culture (Laval, 2002).

C. Bruner :

Bruner (1983) s'inspire à la fois des théories logico-mathématiques de Piaget et des théories de Vygotski : comme Piaget, il s'intéresse au développement de l'enfant à travers l'observation de ses manipulations et il ajoute la question de la dimension sociale, développée par Vygotski. Ainsi, Bruner (1983, page 88) parle :

- du développement de « savoir-faire relatifs à la manipulation d'objets » qui correspond au développement de la pensée logico-mathématique étudiée par Piaget (Crahay, 1999). Bruner parle du « jeu de maîtrise » qui serait une étape avant l'accès au jeu symbolique et durant lequel l'enfant manipule l'objet en tout sens et exerce des routines.
- du développement de « savoir-faire d'interaction sociale » dans lequel l'adulte a le rôle de tuteur. L'interaction entre l'adulte et l'enfant repose sur des formats qui sont des échanges répétés, contextualisés et routiniers dans lesquels l'adulte introduit progressivement des modifications (Laval, 2002). C'est à partir de ces interactions et grâce à l'attention conjointe que l'enfant s'approprie les éléments culturels que lui apporte l'étayage de l'adulte et il peut donc construire sa propre vision du monde (Crahay, 1999).

D. Les théories néo-piagésiennes :

Les théories de Piaget ont connu, à partir des années 80/90, un assaut de critiques (Houdé et Meljac, 2000). Les auteurs aujourd'hui replacent la perception et, plus particulièrement, l'attention visuelle au centre de leurs analyses (Lécuyer, 2000). Ainsi, les néo-piagésiens conservent les points forts de la théorie de Piaget, notamment la description des stades de développement de l'enfant, et y ajoutent des éléments aujourd'hui étudiés par les sciences cognitives (Siegler, 2001). Grâce à l'étude de l'attention visuelle, ils ont pu mettre en évidence la sous-estimation par Piaget des compétences du tout jeune enfant, qui perçoit avant même de manipuler (Baillargeon, 2000). Il existe donc des décalages entre les âges d'acquisition de certaines compétences chez Piaget et chez les néo-piagésiens. La mise en évidence de compétences précoces fait même dire à certains auteurs qu'il existerait des capacités innées chez le nouveau-né (Spelke, 1994, et Wynn, 1992, cités par Houdé et Meljac, 2000).

2.1.2.3 Les théories neuropsychologiques contemporaines

A. Le modèle de Luria :

Luria (1970, 1973, cité par Lussier et Flessas, 2009) a élaboré une théorie du développement de l'intelligence reposant sur l'étude de la maturation cérébrale. Lussier et Flessas (2009) font le lien entre cette étude de la maturation cérébrale et la description du développement de l'intelligence réalisée par Piaget. Nous retiendrons que selon elles :

- Le développement des échanges entre les aires motrices et sensorielles primaires puis secondaires permet à l'enfant de faire du lien et de donner du sens aux données sensorielles. Il peut alors tenter d'adapter sa motricité ; cela correspondrait au stade sensori-moteur de Piaget.
- Grâce au développement des aires motrices et sensorielles secondaires qui se poursuit, les perceptions sensorielles s'affinent, elles sont stockées en mémoire et les séquences motrices sont de plus en plus complexes. La latéralisation des aires du langage se précise permettant à l'enfant de mettre des mots sur ses expériences. C'est le début de la pensée symbolique et représentationnelle, et cela correspondrait au stade pré-opératoire décrit par Piaget.

- La maturation et le développement des interconnexions entre les aires tertiaires (à la périphérie des lobes pariétaux, temporaux et occipitaux) permet l'intégration des informations multimodales (auditives, visuelles et somesthésiques) et entraîne la mise en relation des différentes propriétés d'un objet. Cela permettrait d'accéder à la notion de conservation décrite par Piaget au stade des opérations concrètes.
- Le développement progressif des aires pré-frontales permet à l'enfant d'être capable d'auto-régulation de son comportement et d'accéder à un mode de pensée hypothético-déductive, donc d'accéder au stade des opérations formelles de Piaget.

B. Le modèle de Lussier et Flessas :

A partir des observations de Luria, Lussier et Flessas (2009) ont fait un lien entre le développement de l'intelligence et la mise en place des apprentissages en élaborant un modèle des processus cognitifs impliqués lors des apprentissages. Ces processus considèrent à la fois les différentes modalités d'entrée de l'information (modalités auditives et visuelles) et les différentes façons de traiter cette information (modes séquentiel et verbal). Elles ont donc réalisé une description en quatre quadrants (cf. annexes page 157), qu'elles ont appliquée aux apprentissages scolaires (français, mathématiques et autres matières) :

- Quadrant séquentiel verbal (permettant, par exemple, le traitement de la chaîne numérique verbale),
- Quadrant séquentiel non verbal (permettant, par exemple, le traitement de la chaîne numérique écrite),
- Quadrant simultané verbal (impliqué, par exemple, lors de la sériation de nombres),
- Quadrant simultané non verbal (impliqué, par exemple, dans l'analyse d'une constellation de points sur un dé).

Ces processus sont reliés les uns aux autres et permettent à l'enfant, par différentes modalités, de percevoir, de mémoriser et de comprendre les événements du monde qui l'entoure.

Les auteurs s'intéressant au développement de l'enfant sont donc partis de descriptions cliniques centrées d'abord sur le développement de la pensée de l'enfant. Progressivement, on a parlé d'intelligence chez l'enfant. A partir de Piaget, les auteurs ont tenté de comprendre le développement de l'intelligence de l'enfant et ses liens avec le milieu matériel et social. Les chercheurs ont ensuite distingué le développement de l'intelligence et les apprentissages scolaires.

Après ce rappel des études réalisées sur le développement de l'intelligence de l'enfant et sur la mise en place des apprentissages, nous allons nous intéresser au déroulement des apprentissages en mathématiques.

2.2 Apprentissage des mathématiques

Après Piaget de nombreuses études ont tenté de mettre en évidence des compétences mathématiques chez l'enfant très jeune, voire chez le bébé. Ainsi, il semblerait que Piaget ait sous-estimé ces compétences et que l'enfant manipule le nombre avant même de manipuler son environnement matériel (Lussier et Flessas, 2009). Nous allons voir ici comment l'acquisition de la notion de nombre et l'apprentissage des mathématiques sont aujourd'hui considérés.

2.2.1 Le subitizing

Le terme de « subitizing » est introduit en 1949 par Kaufman, Lord, Reese et Volkman (Pesenti et Rousselle, 2005). Il désigne la capacité à percevoir de petites quantités dans leur globalité. L'enfant de 4 ans et demi serait ainsi capable de dire combien d'éléments comprend une collection de moins de 3 objets sans recourir au comptage (Brissiaud, 1993). Cette compétence est évaluée par l'analyse du temps de latence lors de la présentation de la collection à dénombrer et seules les réponses exactes sont considérées (Pesenti et Rousselle, 2005). Selon Fayol (1990) cette compétence s'acquiert et se développe chez l'enfant, lui permettant, par la suite, d'élaborer une stratégie afin d'évaluer des collections plus grandes de façon plus rapide en élaborant des sous-ensembles de 2 ou 3 éléments. A partir de 8 ou 10 ans les compétences de subitizing des enfants se rapprocheraient des compétences de l'adulte, c'est-à-dire que l'enfant pourrait ainsi dénombrer des collections de 4 à 5 éléments (Trick, Enns et Brodeur, 1996, cités par Pesenti et Rousselle, 2005).

Pour Dehaene et Changeux (1993, cités par Pesenti et Rousselle, 2005) cette procédure amène progressivement l'enfant à utiliser le dénombrement, le subitizing n'étant plus suffisant pour évaluer précisément des quantités supérieures à 3 ou 4 éléments.

2.2.2 La perception globale

Le subitizing permet de quantifier des petites collections. Pour des collections plus importantes, l'enfant et l'adulte possèdent des compétences de quantification approximative (Fayol et coll., 2004). Ces compétences reposent sur la représentation analogique non verbale du modèle du triple code développé par Dehaene en 1992 (Dehaene, 1997). Ce modèle tente d'expliquer sous quelles formes les nombres sont mentalement représentés. Il y aurait donc trois codes (traités différemment au niveau cérébral) et un transcodage qui permet de passer d'un code à l'autre. Ces trois codes sont les suivants :

- Représentation auditive-verbale (c'est la forme du nombre quand on l'entend),
- Représentation visuelle arabe (c'est la forme numérique quand on lit un nombre),
- Représentation analogique de la quantité (c'est la forme que prend un nombre quand on le « traduit » en quantité approximative), qui se ferait sous forme d'une ligne orientée de gauche à droite (Dehaene, 1997).

Cette perception globale des quantités répond à la loi de Weber-Fechner selon laquelle plus la quantité d'éléments à dénombrer augmente, plus la quantification est approximative (Fayol et coll., 2004).

2.2.3 Le comptage

Avant que l'enfant ne parvienne à dénombrer, Piaget et Szeminska (1941, cités par Bideaud et coll., 2004) ont étudié une procédure qu'ils ont appelée « appariement ». Selon eux, cette procédure permet de comparer deux collections et de conclure à leur équivalence lorsque les éléments peuvent être disposés dans « une relation biunivoque et réciproque » (soit dans une disposition terme à terme). Selon Langer (1986, cité par Bideaud et coll., 2004), qui se situe dans la lignée de Piaget, l'enfant, très précocement, manipule son environnement matériel, découvre des relations d'équivalence ou de non équivalence, d'identité, de commutativité et de réversibilité (il parle d' « opérations logico-mathématiques »). L'enfant commence à établir des correspondances qui deviendront ensuite des correspondances terme à terme, à partir de 2 ans selon Starkey (1992, cité par Bideaud et coll., 2004). Mix (2002, cité

par Bideaud et coll., 2004) étudie les activités de correspondance terme à terme chez l'enfant entre 12 et 38 mois et atteste leur importance dans le développement des activités numériques, confirmant ainsi la théorie de Piaget selon laquelle l'enfant peut abstraire des concepts numériques par la comparaison de différentes situations, ici dans une situation de mise en correspondance terme à terme.

Selon Van Hout (2005), le comptage est une forme d'appariement, le comptage désignant l'énumération de la chaîne numérique verbale mise en correspondance avec les éléments de la collection. L'enfant peut, dans un premier temps, comparer deux collections dans une disposition terme à terme, avant de s'appuyer sur le nombre (qui désigne la collection sans que celle-ci soit forcément visible) pour comparer les collections (Duquesne-Belfais, 2006).

Potter et Lévy (1968, cités par Fayol, 1990) ont répertorié les compétences que le comptage nécessite :

- La connaissance des noms de nombres dans l'ordre,
- Un pointage correct,
- La coordination de ces deux habiletés.

Chacune de ces compétences a ensuite fait l'objet d'études.

En 1980, Siegler et Robinson, (cités par Fayol, 1990), ont décrit deux phases d'acquisition de la chaîne numérique : une première phase d'apprentissage « par cœur » des mots-nombres de 1 à 19 puis une phase d'acquisition des mots-nombres au-delà de 19 par composition linguistique à partir des mots-nombres déjà appris.

En 1982, Fuson, Richards et Briars (cités par Fayol, 1990) ont défini quatre niveaux d'organisation de l'apprentissage de la chaîne numérique :

- Le niveau chapelet : la chaîne numérique est mémorisée comme étant un seul bloc, les mots-nombres ne sont pas individualisés.
- Le niveau « chaîne insécable » : jusqu'à 5 ans, l'enfant commence à individualiser les mots-nombres mais il ne peut en évoquer un sans évoquer l'ensemble de la chaîne. Il commence à comprendre l'aspect ordinal et cardinal du nombre et peut procéder à des petites additions et soustractions.

- Le niveau « chaîne sécable » : vers 6 ans l'enfant devient capable d'évoquer seulement des « morceaux » de la chaîne et peut compter à rebours. L'emploi de la chaîne numérique est plus flexible et il peut désormais mettre en place des procédures d'addition plus rapides et plus efficaces.
- Le niveau « chaîne terminale » : entre 6 et 7 ans la mémoire de travail est développée, le nombre est traité comme une entité distincte et l'enfant peut procéder à des dénombrements et il comprend réellement les deux aspects du nombre.

Ils ont également établi que l'enfant connaît la suite numérique jusqu'à 20 vers 6 ans. Pour compter au-delà de 20, il doit apprendre les règles permettant de constituer les nombres (Pesenti et Rousselle, 2005). Selon Bideaud et coll. (2002), deux types de généralisation permettraient l'acquisition de la chaîne numérique après 20 :

- une généralisation de type « extension » (qui correspond à l'apprentissage des éléments à la suite des éléments déjà connus),
- et une généralisation de type « coordination » (qui permet de déduire la suite en construisant le nombre à partir des éléments connus, par exemple en combinant la dizaine et les unités).

Il existerait trois stratégies différentes de pointage chez l'enfant (Shannon, 1978, cité par Fayol, 1990). Dans un premier temps, il met en place une stratégie proximale (il compte les éléments les plus proches), puis il met en place une stratégie périphérique (les éléments du pourtour sont traités les premiers), enfin il met en place une stratégie linéaire (le pointage est organisé en colonnes et rangées).

2.2.4 Le dénombrement

Le dénombrement est une procédure similaire au comptage (Van Hout, 2005) mais cette fois-ci l'enfant accède au concept de cardinal et comprend que le dernier élément compté équivaut au résultat du dénombrement. Dans les différentes définitions, c'est cette notion de cardinalité qui permet de différencier le comptage du dénombrement. K. Wynn

(1990, 1992, citée par Dehaene, 1997), considère que l'enfant avant 3 ans et demi peut compter mais ne fait pas le lien avec le dénombrement, c'est-à-dire qu'il ne fait pas le lien avec la question « combien ? ». Ce serait donc seulement à partir de 3 ans et demi que l'enfant pourrait avoir accès à la notion de cardinalité.

Gelman et Gallistel (1978, cités par Fayol, 1990) ont étudié le dénombrement et ont évoqué cinq principes nécessaires lors de ce dénombrement :

- Principe de correspondance terme à terme (correspondance entre le mot-nombre et l'élément pointé),
- Principe d'ordre stable de la comptine numérique,
- Principe de cardinalité (le dernier mot-nombre énoncé correspond au résultat du dénombrement),
- Principe d'abstraction (l'hétérogénéité de la collection n'a pas d'incidence sur le comptage),
- Principe de non pertinence de l'ordre des éléments pointés.

Selon Fayol (1990), les enfants peuvent avoir acquis chacun de ces principes isolément mais pourraient être incapables de les coordonner dans une même activité de comptage ; ceci expliquerait de grandes variabilités intra- et interindividuelles. Tous les auteurs ne sont pas d'accord sur ces principes établis par Gelman et Gallistel ; en effet, si pour certains ces principes permettent l'apprentissage de la chaîne numérique et du comptage, pour d'autres, ces principes résultent des apprentissages (Pesenti et Rousselle, 2005).

2.2.5 Les procédés de quantification et l'acquisition du nombre

Il existe donc trois procédés de quantification :

- Le subitizing,
- L'estimation globale
- Et le dénombrement.

Pour Piaget, le dénombrement n'est pas indispensable à l'acquisition du concept de nombre et à sa conservation. Il pense que la genèse du nombre repose seulement sur l'acquisition des notions de classes et de sériation.

Aujourd'hui la théorie de Piaget est décriée et il ne semble plus possible de considérer l'acquisition du nombre sans le dénombrement, présent lors de nombreuses activités de la vie quotidienne de l'enfant dès son plus jeune âge (Chalon-Blanc, 2005). Grâce à de nombreuses expériences chez les bébés, on considère que l'enfant aurait une certaine idée du nombre très précocement. En effet, de nombreuses équipes de chercheurs ont observé les temps de fixation des bébés face à différentes présentations de données numériques et ils ont pu mettre en évidence des compétences très précoces d'estimation visuelle de quantités (le subitizing) et de comparaisons de deux collections. Bideaud et Lehalle (2002) précisent que la valeur du nombre s'acquiert en même temps que l'apprentissage de la chaîne numérique à l'occasion d'une quantification. Dehaene (1997) évoque une compréhension intuitive des nombres. Il explique que l'enfant comprend rapidement que les nombres dans la syntaxe sont un sous-système linguistique particulier et c'est avec les différentes expériences quotidiennes de dénombrement qu'il y mettra du sens, c'est-à-dire qu'il traduira un nombre en quantité ; cette compétence deviendra, chez l'adulte, réflexe et irrépressible.

Aujourd'hui, les auteurs s'accordent donc sur le fait que le concept de nombre s'acquiert à travers les différentes expériences de dénombrement et que les compétences de quantification sont des éléments indispensables au développement ultérieur des capacités arithmétiques (Lussier et Flessas, 2009).

2.2.6 Le transcodage

L'enfant, au cours de son apprentissage des mathématiques, se familiarise progressivement avec les différents codes, décrits par Dehaene dans sa théorie du triple code (cf. page 55), et il apprend à passer d'un code à l'autre. La maîtrise de ce transcodage se développerait entre 5 et 9 ans environ. Le premier transcodage auquel il doit se confronter est le passage du code verbal oral au code arabe et inversement. L'enfant maîtriserait d'abord le code verbal oral puis le code arabe mais il existe cependant d'importantes variabilités inter-individuelles (Noël, 2005). Le code verbal oral répond à des règles syntaxiques précises que

l'enfant apprendra à maîtriser ; ces règles syntaxiques régissent les combinaisons des unités lexicales (soit dans des rapports additifs, dix-huit par exemple, soit dans des rapports multiplicatifs, huit cents par exemple). Le code arabe quant à lui répond à des règles de position : notre numération repose sur la base 10 et l'enfant doit apprendre les différences de position entre unités, dizaines, centaines, etc., car, dans ce système, c'est la position du chiffre qui fait sa valeur. On comprend alors que pour transcrire en code arabe un nombre dicté oralement ou pour lire un nombre en code arabe l'enfant doit maîtriser à la fois les unités lexicales, les règles syntaxiques et enfin la valeur de position (Noël, 2005).

De nombreuses études se sont intéressées au traitement cognitif de ces transcodages, d'abord chez l'adulte puis chez l'enfant, mais il semblerait que ces processus soient variés et établir un modèle général semble encore difficile (Noël, 2005).

2.2.7 L'apprentissage des opérations de calcul

2.2.7.1 L'addition et la soustraction

La résolution des opérations est en lien avec la construction du nombre : les opérations sont possibles quand l'enfant a une certaine idée du nombre, mais inversement, la maîtrise des opérations permet une meilleure compréhension des propriétés logiques du nombre (Bideaud et coll., 2004). Dans un premier temps, l'enfant va comprendre les algorithmes d'addition et de soustraction, puis il va déployer des stratégies de plus en plus efficaces pour résoudre ces opérations (Fayol, 1990).

Voyons maintenant comment l'enfant accède à la compréhension de ces algorithmes. Piaget et Szeminska (1941, cités par Bideaud et coll., 2004) pensaient que l'enfant pouvait réaliser ces opérations sans les comprendre. Selon eux, l'enfant accède à leur compréhension lorsqu'il peut les interpréter comme des transformations inverses l'une de l'autre, qu'il peut utiliser les relations de partie et de tout dans son raisonnement.

Il semblerait que ce soit vers 4 ans et demi environ que l'enfant comprend réellement les principes de ces deux opérations. Avant 4 ans et demi, il peut réaliser des transformations additives et soustractives sur des petites quantités de choses réelles mises en relation terme à

terme. Ces expériences répétées vont permettre progressivement à l'enfant d'extraire le nombre comme « dénominateur commun » de toutes ces situations ; puis il va abstraire et généraliser des relations logiques de la chaîne numérique, ce qui lui permettra ensuite d'utiliser et de comprendre les algorithmes du calcul (Bideaud et coll., 2004).

Pour l'addition, l'enfant commence par additionner de petites quantités avec l'aide de ses doigts. Ensuite, il va mettre en place la « stratégie du minimum » (Dehaene, 1997) qui consiste à prendre le plus grand des deux opérandes auquel on ajoute le plus petit ; cette stratégie repose sur le principe de commutativité de l'addition, dont l'enfant comprendra la logique ultérieurement. L'addition à deux chiffres ne sera possible que dans un deuxième temps car elle nécessite, en plus de la compréhension du concept de somme et la connaissance des faits additifs, une maîtrise de la numération de position (unités, dizaines, centaines...) (Lussier et Flessas, 2009).

Pour la soustraction, l'enfant développe encore deux types de stratégies : soit il compte à rebours si l'opérande à soustraire est inférieur à la moitié du premier opérande (par exemple 8-2), soit il part du chiffre le plus faible et compte le nombre d'étapes jusqu'au chiffre le plus fort si ce chiffre est supérieur à la moitié du premier opérande (par exemple 8-6).

Selon Dehaene (1997), l'enfant entre 4 et 7 ans découvre et comprend les opérations d'addition et de soustraction et peut choisir la stratégie la plus adaptée. Au fur et à mesure de ses expériences, l'enfant va ensuite stocker les faits arithmétiques en mémoire. L'étude comparative des temps de réponse face à des calculs simples a permis de conclure à la coexistence de deux processus chez l'enfant et chez l'adulte : le comptage et la récupération en mémoire (Bideaud et Lehalle, 2002).

2.2.7.2 La multiplication et la division

Avant d'accéder à la compréhension du principe de la multiplication, l'enfant peut résoudre des problèmes multiplicatifs en utilisant spontanément l'addition qu'il répète « n » fois (Brissiaud, 1993). Puis, c'est à l'école qu'il apprendra le principe de la multiplication et de la commutativité de la multiplication. Pour ce qui est des stratégies, Lemaire et Siegler (1995, cités par Bideaud et Lehalle, 2002) ont mis en évidence deux types de stratégies utilisées par l'enfant pour la multiplication :

- La première repose sur une stratégie de calcul : soit l'enfant écrit le premier opérande autant de fois que l'indique le deuxième opérande puis effectue une addition, soit il réalise cette même manipulation mentalement.
- La deuxième stratégie consiste à récupérer en mémoire soit le résultat de deux opérations s'il a décomposé le problème en deux opérations (par exemple pour résoudre 6×7 , il calcule d'abord 5×7 puis 1×7 et additionne les deux résultats), soit le résultat de la multiplication mémorisé antérieurement.

L'acquisition du principe de la division a été très peu étudiée (Bideaud et coll., 2004). Selon Squire et Bryant (2002 et 2003, cités par Bideaud et coll., 2004), l'enfant comprend rapidement le principe de la division à partir de ses expériences quotidiennes de partage et à partir de là il développe progressivement une représentation plus flexible de la division. La compréhension de la « division-répartition » est intuitive (sur l'idée du partage) alors que la « division-fraction » nécessite une compréhension de cette opération comme étant une soustraction répétée, c'est alors que l'enfant comprendra la division comme étant l'inverse de la multiplication (Gravemeijer, 1997, cité par Bideaud et coll., 2004).

2.2.8 La résolution des problèmes

Fayol (1990) propose une synthèse des études réalisées jusqu'alors et dégage des consensus. Dans les procédures de résolution de problèmes, trois étapes d'évolution de l'enfant sembleraient se succéder :

- L'enfant simule l'action décrite dans l'énoncé. La forme de l'énoncé est alors importante : d'une part l'enfant peut être en difficulté si la situation est difficile à modéliser par des actes, d'autre part, le problème est plus difficile à résoudre lorsque l'état initial est l'inconnue du problème.
- Les simulations sont intériorisées, deviennent de plus en plus abstraites, et l'enfant a de plus en plus recours au calcul mental.
- L'enfant accède directement à la compréhension du problème, donc à l'opération à résoudre, et il parvient de plus en plus fréquemment à récupérer en mémoire le résultat de cette opération.

Deux facteurs essentiels semblent intervenir dans la résolution des problèmes (Fayol, 1990) :

- Un facteur sémantique : le choix des termes employés aura une influence sur ce que va déduire l'enfant (est-ce que c'est une transformation, une combinaison, une comparaison...).
- Un facteur syntaxique : l'ordre des propositions de l'énoncé aura une influence sur la capacité de l'enfant à résoudre le problème.

Bideaud et coll. (2004) font une synthèse des différentes études sur la situation problème et citent les difficultés rencontrées par l'enfant :

- La compréhension et l'interprétation de l'énoncé,
- Les connaissances logico-mathématiques,
- Les propriétés logiques de la chaîne numérique.

Nous allons maintenant nous intéresser au développement pathologique des apprentissages en mathématiques.

2.3 La dyscalculie

2.3.1 Définitions

Le terme de « dyscalculie développementale » est employé pour la première fois par Cohn en 1968 (cité par Fischer, 2009 [1]) et permet, dès lors, de différencier la dyscalculie développementale des troubles acquis du calcul qui peuvent être soit une dyscalculie acquise (définie comme l'incapacité acquise à lire et écrire des chiffres et des nombres) soit une acalculie (qui définit l'incapacité acquise à réaliser des calculs).

Depuis 1968, de nombreuses définitions de la dyscalculie développementale ont été données pour caractériser les troubles observés. Mais la définition et les critères diagnostiques de la dyscalculie restent variables d'une étude à l'autre (Van Hout, 2005).

Au départ, ces troubles pouvaient inclure ou non des difficultés dans la lecture et l'écriture des nombres et la résolution de problèmes non numériques (Fischer, 2009 [1]). Il semble aujourd'hui que les auteurs se recentrent uniquement sur les troubles du calcul pour parler de dyscalculie (Brissiaud, 2003, Landerl et coll., 2004 cités par Fischer, 2009 [1]).

De même, si certains auteurs évoquent des troubles comorbides à la dyscalculie (dyslexie, retard de langage, etc.), ces troubles sont des facteurs d'exclusion pour d'autres auteurs. Selon Fischer (2009 [1]), parler de dyscalculie lorsque des troubles de lecture sont associés entraîne le risque de confondre la dyscalculie avec les difficultés scolaires plus générales. La classification internationale CIM-10, place également les troubles de lecture et d'orthographe comme des critères d'exclusion de la dyscalculie ; ce qui n'est pas le cas dans la classification américaine DSM-IV (Vannetzel et coll., 2009). Van Hout, Van Aster et Shalev (2007, cités par Fischer, 2009 [1]) n'excluent pas d'autres troubles associés et distinguent alors deux types de dyscalculie développementale :

- Une dyscalculie concernant uniquement un trouble du sens du nombre
- Une dyscalculie avec comorbidités

Van Hout (2005) dénonce certains auteurs qui confondent la dyscalculie avec un retard scolaire allant jusqu'à décrire des « dyscalculies transitoires » (Shalev et coll., 1998 cités par

Van Hout, 2005). Elle insiste donc sur la nécessité de rechercher la sévérité des troubles (au moins deux écarts-types) et leur durabilité (au moins deux ans de retard par rapport au niveau scolaire).

Selon Fischer (2009 [2]), trouver un consensus permettrait :

- De s'accorder sur le taux de prévalence,
- De mieux accompagner les enfants sur les plans pédagogique et rééducatif,
- D'isoler le substrat neurologique en cause.

2.3.2 Prévalence

La multiplicité des descriptions de la dyscalculie et des méthodes d'investigation (critères d'inclusion ou d'exclusion des troubles associés, en lecture notamment) entraîne des indices de prévalence très différents d'une étude à l'autre variant entre 3 et 6.5 % (Shalev, 2004, cité par Lussier et Flessas, 2009), voire entre 1.1 et 6.6% (Fischer, 2009 [1]).

Ce trouble toucherait les filles et les garçons dans des proportions égales (Shalev, 2004 et INSERM, 2007, cités par Vannetzel et coll., 2009). Mais cette donnée est contestée dans différentes études (Fischer et Charon, soumis, Huguet et Régner, 2007, Huguet, 2008 cités par Vannetzel et coll., 2009) ; ces auteurs pensent que, pour des raisons socioculturelles, la dyscalculie toucherait davantage les filles.

2.3.3 Hypothèses étiologiques

2.3.3.1 Hypothèses génétiques

La dyscalculie pourrait avoir une origine génétique. En effet, on retrouve ce trouble dans certains syndromes génétiques (syndrome de Turner, syndrome de l’X fragile, syndrome de Williams). L’INSERM a réalisé en 2007 une étude de l’héritabilité de la dyscalculie dont le résultat montre que des facteurs génétiques interviendraient dans ce trouble dans des proportions plus ou moins égales à celles de la dyslexie (Fischer, 2009 [1]). Cependant, Simon et al. (2008, cités par Fischer, 2009 [1]) ont comparé deux groupes d’enfants souffrant d’une délétion du chromosome X et d’une délétion du chromosome 22q11 ; le résultat de cette étude va à l’encontre d’une origine génétique directe de la dyscalculie. Il semble donc que, comme pour les autres troubles des apprentissages, des hypothèses génétiques soient possibles dans certains cas sans que l’on n’ait pu encore isoler le gène précis et en définir la transmission.

2.3.3.2 Hypothèses sociétales

En 1983, Saxe, (cité par Vannetzel et coll., 2009), étudie la pratique et la maîtrise du calcul et évoque l’influence de facteurs environnementaux et socioculturels.

Fisher (2009 [1]) observe une proportion plus de deux fois supérieure d’adultes dyscalculiques (entre 18 et 65 ans) que d’enfants (entre 8 et 12 ans). Il émet l’hypothèse d’une raison sociétale, les enfants devant obligatoirement suivre un enseignement des mathématiques que les adultes ont pu délaissé à partir du moment où ils ne suivent plus de scolarité. Mais cette hypothèse pose question sur la définition de la dyscalculie. On retrouve ici ce que Van Hout (2005) dénonce : certains auteurs parlent de dyscalculie dès qu’il y a une difficulté en mathématiques, sans tenir compte de la sévérité mais surtout de la durabilité des troubles (un adulte ne peut devenir dyscalculique s’il ne l’a pas été durant l’enfance).

Il semblerait également que le système numérique employé ait une influence sur l’acquisition des compétences mathématiques ; l’étude de Fuson et Kwon (1991) citée par

Bideaud et coll. (2004) montre que les enfants asiatiques maîtrisent plus rapidement le nombre car leur système numérique est plus régulier (en plus d'une pédagogie qui n'est pas la même qu'en Europe).

2.3.3.3 Hypothèse opératoire

Partant des travaux de Piaget (1977) sur l'abstraction réfléchissante (l'enfant établit des lois générales à partir de ses réflexions sur ses propres expériences), Fischer en 2009 [2], émet l'hypothèse d'une défaillance de cette capacité d'abstraction, propre aux compétences mathématiques. Les difficultés de manipulation et de mises en correspondance des différentes quantités, qui sont à l'origine du calcul, pourraient être expliquées en partie par ce retard du développement opératoire.

2.3.3.4 Hypothèses neurologiques

De nombreux auteurs ont tenté de décrire l'organisation cérébrale des traitements du nombre et ses troubles à partir de l'acalculie acquise suite à une lésion cérébrale.

A. Etudes chez l'adulte cérébro-lésé :

Seron et Delaroche (1994, cités par Lussier et Flessas, 2009) ont réalisé une synthèse des principaux travaux et recensent différentes observations en fonction des lésions :

- Les lésions pariétales gauches ou bilatérales entraînent une perte de la capacité à lire les chiffres et les nombres,
- Les lésions pariétales droites entraînent plutôt des erreurs dans la position et l'ordre des chiffres ainsi qu'une perte des représentations topographiques et une héminégligence,
- Les lésions bilatérales (avec dominance des lésions gauches) entraînent une anarithmétique, soit une incapacité à résoudre des opérations que ce soit à l'oral ou à l'écrit.

Rourke cité par Pesenti et Seron (2000) résume ainsi les troubles observés : les lésions de l'hémisphère gauche entraînent des difficultés du système verbal, alors que les lésions de l'hémisphère droit entraînent des troubles du raisonnement non verbal et des traitements visuo-spatiaux. Il semble aujourd'hui que les réseaux neuronaux soient plus complexes et que les difficultés en mathématiques ne puissent être ainsi résumées (Pesenti et Seron, 2000).

Certains auteurs ont observé et ont décrit un ensemble de symptômes qu'ils ont regroupés sous le terme de syndrome de Gerstman où l'on observe l'association d'une acalculie, d'une dysgraphie, d'une désorientation droite/gauche et d'une agnosie digitale. Ce syndrome serait dû à une lésion de la partie postéro-inférieure du lobe pariétal gauche (Dehaene, Molko et Wilson, 2004).

L'ensemble de ces observations renvoie à une organisation cérébrale vaste et complexe du traitement numérique.

B. Etude chez l'enfant cérébro-lésé :

Van Hout (2005) a étudié les troubles arithmétiques chez l'enfant en fonction des lésions et a pu observer :

- Une lésion hémisphérique gauche entraîne une altération de la production et de la reconnaissance des nombres ainsi qu'une difficulté à séquencer et à stocker les faits arithmétiques dans la mémoire sémantique.
- Une lésion hémisphérique droite entraîne des difficultés dans la conceptualisation des quantités, des difficultés en calcul mental, des troubles visuo-spatiaux ainsi qu'un manque de coordination de la main gauche.

Elle décrit également un syndrome de Gerstman chez l'enfant avec des difficultés en lecture et écriture de grands nombres, des difficultés dans l'ordre des chiffres, un mauvais alignement des nombres pour la pose des opérations, une confusion des signes des opérations, une mauvaise rétention des faits arithmétiques ainsi qu'une dysgraphie et une dysorthographe.

C. Etude du syndrome de l'hémisphère droit

Rourke (1978, cité par Lussier et Flessas, 2009) a repris les travaux de Johnson et Myklebust et a tenté de décrire un syndrome, dit « syndrome de l'hémisphère droit » ou encore « syndrome de dysfonctions non verbales ». Selon lui, ce syndrome serait dû à une atteinte spécifique de la substance blanche (insuffisance de la myélinisation) de l'hémisphère droit, limitant ainsi les connexions à la fois inter-hémisphériques et intra-hémisphériques (entre les différents lobes). Dans ce syndrome on observe :

- Des difficultés visuo-spatiales,
- Un déficit attentionnel important,
- Des difficultés dans le traitement du temps (lecture de l'heure, évaluation de la durée...),
- Des difficultés d'orientation dans l'espace,
- Des difficultés en mathématiques,
- Des troubles du comportement avec des difficultés émotionnelles à la fois dans l'expression (mimiques et gestuelle) et dans l'interprétation des émotions d'autrui,
- Des difficultés à jouer de la musique et à reproduire des rythmes,

Mais la description de ce syndrome est controversée (Mazeau, 2005) car les symptômes décrits peuvent être mis en doute à la fois dans leur description (que met-on sous l'appellation « trouble du comportement » par exemple), leur localisation neuro-anatomique (pas seulement dans l'hémisphère droit) et la nature dite « non-verbale » des troubles.

2.3.3.5 Hypothèses neuropsychologiques

L'étude des processus impliqués dans des tâches arithmétiques a donné naissance à différentes hypothèses explicatives des troubles.

Sokol et coll. (1994, cités par Lussier et Flessas, 2009), à partir du modèle de Mc Closkey et coll., ont décomposé les mécanismes impliqués dans les troubles du calcul :

- **Les mécanismes de traitements numériques**, eux-mêmes subdivisés en deux :
 - Les mécanismes de compréhension (pour accéder à la représentation sémantique), parmi lesquels on distingue :
 - Le traitement numérique arabe et le traitement verbal
 - Le traitement lexical et le traitement syntaxique
 - Les mécanismes de production numérique (pour accéder au calcul), dont chacun se subdivise encore :
 - En traitement numérique arabe et traitement verbal
 - En traitement lexical et traitement syntaxique
- **Les mécanismes de calcul** qui sont eux subdivisés en trois :
 - Le mécanisme permettant le traitement symbolique des opérations,
 - Le mécanisme permettant d'accéder aux algorithmes de calcul,
 - Le mécanisme permettant la mémorisation des faits numériques.

A ce modèle, Dehaene (1992, cité par Lussier et Flessas, 2009) ajoutera un module permettant le traitement de la quantification et il développera sa théorie du triple code selon laquelle le traitement des nombres et du calcul se fait à partir de trois codes et chaque tâche numérique concerne un code précis (cf. page 55).

Enfin, Lussier et Flessas (2009) ajouteront un autre module qui concerne le traitement visuo-spatial indispensable dans :

- la perception des quantités (subitizing ou approximation globale),
- la compréhension de la numération de position,
- la pose et la résolution des opérations,
- la compréhension des faits arithmétiques,
- la réalisation des équations et des fractions,

- la compréhension des nombres négatifs par la représentation linéaire de la suite numérique, etc...

Chacune des composantes décrites ci-dessus (dans les modèles de Sokol et coll., Dehaene et Lussier et Flessas) peut être atteinte et entraîner des difficultés spécifiques dans l'apprentissage des mathématiques.

Pour Mazeau (1999) la dyscalculie est le symptôme d'un trouble cognitif spécifique. Ainsi, elle s'est intéressée aux différents aspects du nombre qu'elle décompose ainsi :

- Le versant logique du nombre : issu des études de Piaget, il est acquis par l'enfant à travers les opérations de catégorisations, classifications et sériations.
- Le versant linguistique du nombre : il correspond à la connaissance et à la maîtrise des mots-nombres oraux et/ou écrits.
- Le versant spatial du nombre : il est indispensable à la fois pour percevoir, comparer et compter des collections mais aussi pour comprendre et manipuler la numération de position et les algorithmes de calcul.
- De plus, des compétences mnésiques (mémoire déclarative et mémoire de travail) et certaines fonctions exécutives sont requises dans le calcul et la résolution de problèmes.

Mazeau affirme que, du fait de troubles cognitifs spécifiques, chacun de ces aspects peut être altéré et entraîner une forme de dyscalculie.

2.3.4 Classifications

Nous venons de voir que différents processus cognitifs pouvaient être atteints dans la pathologie du traitement numérique. Aussi, les auteurs vont-ils proposer diverses classifications des dyscalculies. Au vu de la diversité de ces descriptions nous n'évoquerons ici que les typologies dans lesquelles des troubles praxiques et visuo-spatiaux sont évoqués.

2.3.4.1 Classification de Kosci

Kosci (1974, cité par Van Hout, 2005) a établi une classification des différentes formes de dyscalculie développementale basée sur la typologie des déficits. Parmi ces formes il évoque :

- Une dyscalculie practognosique, qui rassemble des difficultés à classer les nombres en fonction de leur valeur et pour laquelle nous retrouvons également des troubles des praxies constructives.
- Une dyscalculie idéognosique dans laquelle l'enfant éprouve des difficultés de calcul mental et des difficultés de compréhension des relations spatiales.

2.3.4.2 Classification de Badian

Badian (1983, cité par Van Hout, 2005) a décrit une dyscalculie spatiale entraînant des erreurs dans la disposition des chiffres, des difficultés dans la pose et dans la résolution des opérations et une dysgraphie. Ces difficultés sont également souvent associées à une difficulté dans la lecture de l'heure.

2.3.4.3 Classification de Von Aster et Shalev

Von Aster et Shalev (2007, cités par Fischer, 2009 [1]) postulent l'existence de deux types de dyscalculie.

- Dans la première, dite pure, les capacités du système numérique basique ainsi que les capacités de traitement visuo-spatial seraient en cause.
- Dans la deuxième, qui associe d'autres troubles aux troubles du calcul, divers processus pathologiques pourraient être en lien avec les difficultés rencontrées et gêneraient l'accès au concept du nombre: attention, mémoire de travail, fonctions exécutives, langage...

2.3.5 Comorbidités

Les études sur la dyscalculie donnent lieu à des définitions et des taux de prévalence très différents en fonction des critères diagnostiques sélectionnés. Le taux de dyscalculie pure s'élèverait à 1,5 %, selon Fischer (2009 [2]), les comorbidités avec la dyscalculie sont donc fréquentes. D'autre part, 20 à 60 % des enfants souffrant de dyscalculie développementale souffriraient également d'un autre trouble des apprentissages, de dyslexie notamment (Dirks et coll., 2008, Mayes et Calhoun, 2006, cités par Rubinsten, 2009). Ces comorbidités ne doivent pas être considérées comme des éléments indépendants, juxtaposés aux difficultés en mathématiques mais doivent être vues comme des éléments liés par des processus communs interférant avec la compréhension et l'acquisition du concept de nombre (Von Aster, 2009).

2.3.5.1 Dyscalculie et dyslexie

Les troubles du calcul sont fréquemment associés à des troubles du langage écrit (Rourke, 1985 ; Räsänen et Ahonen, 1995 cités par Van Hout, 2005). Rubinsten (2009) a réalisé une synthèse des études récentes sur la comorbidité de la dyscalculie avec la dyslexie :

- D'une part, chez les dyslexiques, la défaillance du traitement phonologique entraînerait des difficultés dans la manipulation du code verbal des mathématiques (vitesse de comptage, rappel des faits numériques, calcul...) (Simmons et Singleton, 2008, cités par Rubinsten, 2009),
- D'autre part, certains enfants présentant une comorbidité de la dyslexie et de la dyscalculie éprouvent des difficultés d'accès et de compréhension du concept de nombre (Landerl et coll., 2009, cités par Rubinsten, 2009).

Différentes hypothèses neurologiques sont évoquées, impliquant l'aire visuelle primaire, la latéralisation à gauche de la substance blanche ou encore le gyrus angulaire (Rubinsten, 2009). D'une façon plus générale, l'association de la dyslexie et de la dyscalculie s'expliquerait par un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche (Rosselli et Matute, 2005). D'un point de vue neuropsychologique, un dysfonctionnement de la maturation des processus neuropsychologiques (traitement visuo-spatial, traitement verbal, attention, mémoire de

travail...) serait concerné (Von Aster, 2009). Il semblerait que la corrélation des troubles en mathématiques et en lecture soit particulièrement élevée dans les tâches impliquant le traitement des symboles (Fayol et coll., 2009).

2.3.5.2 Dyscalculie et dysphasie

Mazeau (2005) cite les difficultés particulières que rencontrent les enfants dysphasiques en mathématiques :

- Difficultés importantes dans l'apprentissage de la chaîne numérique, en particulier pour les nombres irréguliers (onze, seize...),
- Difficultés à accéder à la notion de quantité à partir d'un nombre donné à l'oral,
- Nombreuses erreurs lexicales et syntaxiques dans le transcodage des nombres,
- Difficultés de mémorisation des faits arithmétiques,
- Difficultés dans le calcul mental, dues à une faiblesse de la mémoire auditivo-verbale,
- Grandes difficultés dans la compréhension des énoncés de problème.

Gaillard et Willadino-Braga (2005) ont réalisé une étude des compétences arithmétiques chez dix enfants dysphasiques. Cette étude a montré que ces enfants pouvaient présenter des troubles divers en mathématiques, au-delà du traitement verbal du nombre ; cela semble être corrélé avec des difficultés de mémoire et des difficultés gnoso-praxiques.

2.3.5.3 Dyscalculie et déficit attentionnel

Il existe une comorbidité de la dyscalculie avec des troubles attentionnels (Gross-Tsur et coll., 1996, cités par Van Hout, 2005). Nous avons vu que Badian (1983, cité par Van Hout, 2005) (cf. page 72) avait conçu une typologie de dyscalculie basée sur les difficultés attentionnelles qui entraînent des omissions de chiffres, des oublis dans le traitement des retenues, des difficultés pour passer d'un type d'opération à un autre. Strang et Rourke (1985, cités par Van Hout, 2005) ont également retrouvé ces difficultés chez des enfants souffrant d'un déficit attentionnel et y ajoutent un trouble graphomoteur (les chiffres sont très mal formés). Pour Aster et Shalev (2007, cités par Fischer, 2009 [1]) des troubles attentionnels et un déficit de la mémoire de travail peuvent être mis en cause dans les troubles de l'acquisition du nombre.

2.3.5.4 Dyscalculie et troubles visuo-spatiaux

Lussier et Flessas (2009) rappellent la théorie de Piaget selon laquelle les compétences logiques et les habiletés visuo-spatiales se développent simultanément.

Kosc (1974, cité par Van Hout, 2005), dans sa classification des dyscalculies, avait évoqué une « dyscalculie idéognosique » (cf. page 72) dans laquelle il observait des difficultés de compréhension des relations spatiales. Badian (1983, cité par Van Hout, 2005) a décrit une « dyscalculie spatiale » (cf. page 72). Johnson et Myklebust (1967, cités par Van Hout, 2005), sont partis de l'analyse des erreurs pour proposer une typologie des troubles en arithmétique : les difficultés seraient plutôt d'ordre visuo-spatial que verbal dans les troubles du calcul. Strang et Rourke (1985, cités par Van Hout, 2005) ont comparé les compétences entre des enfants dont les difficultés en langage écrit sont supérieures aux difficultés en mathématiques et des enfants dont les difficultés en mathématiques sont supérieures aux difficultés de langage écrit. Ils ont retrouvé un déficit visuo-spatial chez les enfants dont les difficultés en mathématiques sont majeures. Von Aster et Shalev (2007, cités par Fischer, 2009 [1]) ont distingué la dyscalculie pure (déficit du système numérique basique précoce) de la dyscalculie avec comorbidités (cf. page 72) et ils ont observé un déficit du traitement visuo-spatial dans la dyscalculie dite pure, où le sens du nombre est altéré. Metz-Lutz et coll. (2004)

ont étudié l'implication de la mémoire de travail visuo-spatiale dans les apprentissages. Ils citent deux études :

- la première étude de Nichelli et Venneri (1995) met en évidence un déficit de cette mémoire de travail visuo-spatiale dans un « trouble d'apprentissage lié à un déficit hémisphérique droit » (déficits visuo-spatiaux associés à des difficultés en mathématiques et à des perturbations émotionnelles).

- la deuxième étude de Cornoldi, Rigoni, Venneri et Vecchi (2000) met également en évidence un déficit de mémoire de travail visuo-spatiale chez deux enfants présentant des « troubles des apprentissages non-verbaux ».

Les troubles visuo-spatiaux semblent donc fortement impliqués et fréquemment associés à la dyscalculie.

2.3.5.5 Dyscalculie et troubles praxiques

Cohn (1968, cité par Van Hout, 2005) a observé des difficultés dans le dénombrement suite à des troubles du pointage, ainsi que des troubles des praxies constructives et une faiblesse dans le dessin du bonhomme. Kosc (1974, cité par Van Hout, 2005) avait introduit dans sa classification une « dyscalculie practognosique » (cf. page 72) qui se manifestait par des difficultés à classer les nombres selon leur valeur, associées à des troubles des praxies constructives. Dans l'étude de Strang et Rourke (1985, cités par Van Hout, 2005) évoquée plus haut, on retrouve également des troubles bilatéraux d'habileté motrice chez les enfants éprouvant des difficultés en mathématiques. L'association des troubles visuo-spatiaux et praxiques avec la dyscalculie s'expliquerait par un dysfonctionnement de l'hémisphère droit (Rosselli et Matute, 2005).

2.3.5.6 Dyscalculie et autres troubles

Mazeau (1999) évoque également une comorbidité possible de la dyscalculie avec certains troubles mnésiques et certains troubles des fonctions exécutives. Les caractéristiques en mathématiques que l'on retrouve alors sont :

- Une impulsivité des réponses,
- Des persévérations et un défaut d'inhibition des processus activés,
- Des erreurs liées à des difficultés de sélection (sélection des bons mots-nombres par exemple),
- Et des difficultés à anticiper, sélectionner, gérer et coordonner les calculs.

Voyons maintenant comment la dyspraxie peut rendre difficile l'apprentissage des mathématiques.

Partie 3 : La dyspraxie et les mathématiques

3.1 Théories sur les difficultés de traitement des aspects spatiaux

3.1.1 Le dénombrement

La perception globale et le dénombrement sont particulièrement difficiles pour l'enfant dyspraxique.

En effet, la perception globale repose sur une prise d'informations visuelles, or nous avons vu que l'enfant dyspraxique peut souffrir de troubles visuels.

Le dénombrement nécessite quant à lui (Camos et coll., 1998) :

- De connaître la comptine numérique,
- D'organiser le regard et le pointage,
- De coordonner la comptine numérique orale avec le pointage de chaque élément dans une correspondance stricte,
- Et d'organiser l'espace.

Nous comprenons donc les difficultés de l'enfant dyspraxique qui peut présenter :

- Des difficultés dans l'organisation du regard qui ne vont pas lui permettre de mettre en place une stratégie permettant de distinguer les éléments « déjà comptés » de ceux « encore à compter » (Duquesne-Belfais, 2006),
- Des troubles praxiques qui vont gêner l'organisation du geste de pointage,
- Des difficultés dans la coordination du pointage avec la comptine numérique orale dont l'énumération peut être difficile si des troubles de l'ordre de la dyspraxie verbale sont présents (Camos et coll., 1998). Cependant, ces auteurs ajoutent que l'énumération de la comptine numérique orale (qu'il connaît bien) peut aider l'enfant dyspraxique dans son pointage. Ils s'appuient sur une thèse de Luria selon laquelle une activité verbale réalisée en même temps qu'une activité motrice peut favoriser cette dernière.

Malgré une bonne compréhension du principe de cardinalité, toutes ces difficultés dans le dénombrement ne vont pas permettre à l'enfant dyspraxique d'accéder à l'invariance du nombre, car le résultat du dénombrement d'une même collection peut être différent à chaque essai (Mazeau, 1995).

3.1.2 La correspondance terme à terme et la manipulation de matériel

Pour « manipuler » le nombre, les enseignants proposent souvent des activités qui mettent l'enfant dyspraxique en difficulté. Il peut s'agir d'activités de mise en correspondance dans lesquelles il faut relier par un trait les éléments de deux collections répartis sur l'ensemble de la feuille. Cette activité mobilise des compétences visuo-spatiales complexes : dénombrement, poursuite oculomotrice, poursuite graphique, orientation, distinction des différents traits... Il peut s'agir également d'activités de manipulation de matériel. L'enfant dyspraxique ne peut tirer aucun enseignement de ces manipulations (censées être plus concrètes) car il est en difficulté à la fois dans la manipulation, dans le dénombrement et dans la prise d'informations visuelles (Mazeau, 2005).

3.1.3 La numération

Comme nous l'avons vu précédemment, notre numération est une numération de position dans laquelle les unités sont placées à droite, puis les dizaines à gauche des unités, les centaines à gauche des dizaines, etc. Ainsi, un chiffre change de valeur en fonction de sa position dans le nombre. Ceci nécessite donc des compétences d'orientation du regard et des compétences topologiques (pour comprendre les relations entre les chiffres à l'intérieur du nombre). Ces compétences sont particulièrement délicates chez les enfants dyspraxiques (Crouail, 2008). Ils éprouvent des difficultés dans la lecture et dans l'écriture des nombres (Hurtrez, 2006), ainsi que dans la lecture de certains signes numériques, < et > ou x et +, par exemple (Mazeau, 2005). Nous retrouvons également des troubles de la réalisation graphique avec des inversions de chiffres, des chiffres en miroir et une grande fluctuation de ces troubles (Mazeau, 1995).

3.1.4 Le calcul

La pose des opérations de calcul nécessite des compétences spatiales : il s'agit d'aligner les unités puis les dizaines et les centaines ; il faut ensuite savoir où on commence, où on note le résultat et la retenue, etc. ; de plus, cela varie d'une procédure de calcul à l'autre (par exemple, on va du haut vers le bas dans l'addition mais du bas vers le haut dans la soustraction et les retenues répondent à des règles encore différentes). L'enfant dyspraxique éprouve donc des difficultés importantes dans la pose et la résolution des opérations (Duquesne-Belfais, 2006). Cependant, il peut s'appuyer sur de bonnes compétences verbales et accéder à une compréhension satisfaisante des algorithmes, il peut également s'aider de ses compétences mnésiques pour mémoriser les faits arithmétiques (Duquesne-Belfais, 2006).

3.1.5 La résolution des problèmes

L'enfant dyspraxique n'éprouve pas de difficultés particulières dans la compréhension des problèmes et il parvient facilement à trouver des solutions aux problèmes et à comprendre quelle opération doit être effectuée (Mazeau, 2005). Cependant, il peine dans la recherche visuelle des informations qui peuvent être soit contenues dans le texte, soit disposées dans un tableau ou un graphique par exemple (Hurtrez, 2006). De même, le recours à la schématisation (qui aide l'enfant ordinaire) est souvent nocif pour les enfants dyspraxiques car on tente ainsi de traduire l'énoncé verbal du problème en une situation visuo-spatiale (Crouail, 2008).

3.1.6 La géométrie

La géométrie est inaccessible (Hurtrez, 2006) car elle met à l'épreuve toutes les compétences qui posent problème aux enfants dyspraxiques : manipulation du matériel spécifique, perception et reproduction des figures géométriques. Il est impossible pour l'enfant dyspraxique d'isoler les différents constituants d'une figure constructive et de

comprendre les relations spatiales entre chacun de ces constituants (Crouail, 2008). Crouail (2008) a étudié les difficultés de l'enfant dyspraxique en mathématiques dans le cadre d'une infirmité motrice cérébrale ; les troubles qu'il observe en géométrie sont dus :

- Aux troubles visuels,
- Aux difficultés de compréhension des relations entre le tout et les parties,
- A une représentation mentale figurative défectueuse.

3.2 Développement du raisonnement logique et dyspraxie

3.2.1 Théories sur le lien entre les troubles du développement moteur et les troubles du raisonnement logique

3.2.1.1 Du point de vue neuro-anatomique

D'un point de vue neuro-anatomique, le premier à avoir évoqué un lien entre un trouble perceptif tactile et des difficultés en arithmétique est Gerstmann (1924) dans sa description du syndrome de Gerstmann associant : agnosie digitale, indistinction droite/gauche, agraphie et acalculie. Seul le lien entre l'agnosie digitale et les difficultés de calcul fut ensuite confirmé chez l'adulte, avec l'hypothèse d'une lésion pariétale postérieure de l'hémisphère dominant (Marinthe et coll., 1999). Dans la continuité, Rourke (1993, cité par Marinthe et coll., 1999) a mis en évidence chez l'enfant un lien entre une faiblesse dans les capacités perceptivo-tactiles et une faiblesse dans les apprentissages mathématiques. Marinthe et coll. (1999), à partir de ces deux expériences, ont réalisé une étude confirmant un lien prédictif des habiletés perceptivo-tactiles et visuo-spatiales avec les compétences numériques ultérieures. Ils expliquent cela au niveau neuro-anatomique par l'activité de l'aire 39 de Brodmann impliquée à la fois dans l'intégration des perceptions visuelles et tactiles et dans le traitement des nombres.

3.2.1.2 Du point de vue cognitif

Piaget est à l'origine de la théorie du développement du raisonnement logique à partir du développement moteur : « De la perception aux schémas sensori-moteurs, de ces schémas à la sorte d'imitation intériorisée qui se forme dans l'image mentale, des représentations pré-opératoires aux opérations elles-mêmes, tous les mécanismes cognitifs se basent sur l'activité motrice » (Piaget, 1960, cité par De Ajuriaguerra, 1964, page 255). La théorie de Piaget est à

l'origine de nombreuses recherches, et certains chercheurs en neurobiologie ont effectivement pu établir un lien entre la locomotion du nourrisson et le développement de sa cognition spatiale (Rivière, 2000). Selon Piaget, l'enfant, pour commencer à explorer les objets et donc à développer ses connaissances, doit avoir acquis la coordination oculo-manuelle (vers 6 mois). Aujourd'hui, certains chercheurs (Mandler et Lécuyer notamment, cités par Rivière, 2000) complètent cette théorie et établissent le début du développement de la connaissance plus tôt en insistant sur l'importance de la perception avant le développement de l'action ; l'enfant perçoit avant d'agir et commence dès lors à structurer son environnement. Nous avons vu dans la théorie de Piaget (1967) que l'enfant, à partir de ses expériences, intériorise progressivement des connaissances sur la structuration de l'espace et du temps, il établit des relations, il coordonne ses actions et développe ainsi son raisonnement logique. Il est important ici d'évoquer différentes expériences qui montrent que si l'enfant ordinaire structure sa cognition spatiale à travers ses déplacements moteurs, l'enfant déficient moteur sans lésion cérébrale (enfants atteints d'une amyotrophie spinale infantile dans l'étude de Rivière et Lécuyer, 2000) ne présente pas pour autant de retard dans le développement de sa cognition spatiale. Ces enfants parviendraient donc à compenser le handicap moteur pour développer leur connaissance de l'espace.

A partir de ces observations nous pouvons nous demander ce qu'il advient du développement du raisonnement logique et des compétences mathématiques chez les enfants dyspraxiques.

3.2.2 Théorie de Mazeau

Pour Mazeau (2005), si l'enfant IMC et dyspraxique a des difficultés d'ordre instrumental (dénombrement, dispositions des chiffres dans les nombres et des nombres dans les opérations...) il n'éprouve aucune difficulté d'ordre conceptuel (accès aux notions de nombre et de quantité, accès au sens des opérations, etc.). La réalisation des épreuves de logique issues des travaux de Piaget ne met pas en évidence de trouble du raisonnement logique chez l'enfant dyspraxique dans le cadre d'une dyspraxie lésionnelle, à condition que les épreuves ne nécessitent pas la manipulation de données visuo-spatiales :

- Les épreuves de classification sont parfaitement réussies, lorsqu'elles ne concernent pas des données visuo-spatiales.
- Les épreuves de sériation de Piaget sont échouées car l'enfant dyspraxique ne parvient pas à évaluer la longueur des bâtonnets et ne peut les aligner ; cependant, une épreuve de sériation de nombres est très bien réussie.
- Dans les différentes épreuves de conservation, l'enfant dyspraxique est préservé du leurre perceptif. En effet, si l'enfant ordinaire se laisse influencer par la forme, l'enfant dyspraxique en est préservé. Pour la conservation des quantités discontinues, l'enfant dyspraxique s'appuiera spontanément sur le nombre et il ne passera pas par la phase de « conflit cognitif » durant laquelle l'enfant ordinaire se rend compte que ce qu'il perçoit (la non égalité des collections car les formes sont différentes) n'est pas ce qu'il compte. L'enfant dyspraxique ne s'appuie pas sur les données perceptives, figuratives et expérimentales car il sait que, pour lui, ces données ne sont pas fiables.

Selon Mazeau, l'enfant dyspraxique ne présente donc pas de trouble du développement du raisonnement logique mais plutôt une mise en place chronologique particulière. Ainsi, il peut avoir acquis le principe de conservation (puisque protégé du leurre perceptif) et échouer pourtant à des épreuves considérées de niveau inférieur.

Il est important de rappeler ici que Mazeau ne fait pas de distinction entre la dyspraxie développementale et la dyspraxie dans le cadre d'une infirmité motrice cérébrale (Cf. définitions de la dyspraxie dans la première partie, page 31), et que toutes ses études sont réalisées avec une population d'enfants IMC.

3.2.3 Théorie de De Ajuriaguerra

Dans sa définition des praxies, Piaget distingue deux aspects se synchronisant au cours du développement : l'aspect figuratif, relatif aux aspects statiques (perception, imitation, image mentale) et l'aspect opératif (relatif aux transformations). Partant de cette définition, De Ajuriaguerra et son équipe (1964) se sont demandés quelle pouvait être la représentation mentale des enfants dyspraxiques et ce qu'il en était des acquisitions opératoires. Ils ont étudié le développement de l'intelligence chez un groupe de 18 enfants dyspraxiques âgés de 8 à 16 ans.

L'étude de l'aspect figuratif visuel a mis en évidence un déficit évident dans ce domaine. Observant ce déficit, l'équipe s'est alors interrogée sur le développement de l'aspect opératif. Ils ont alors proposé des épreuves de conservation, de classification, d'inclusion, une épreuve de classification par contrastes sémantiques (épreuve de Y. Hattwell), ainsi que des épreuves du stade des opérations pré-formelles pour les enfants les plus âgés.

Les épreuves de conservation sont nettement échouées par ces enfants, ce qui n'étonne pas De Ajuriaguerra et son équipe au vu des résultats dans le domaine du figuratif visuel.

Les épreuves de classification et de sériation à support verbal sont réussies pour 15 enfants sur 18 ; mais sur ses 15 enfants, 8 enfants ont au moins 11 ans (alors que ces épreuves sont normalement réussies à 9-10 ans). Les chercheurs leur ont donc proposé des épreuves du stade de l'intelligence pré-formelle ; sur ces 8 enfants, 5 les réussissent parfaitement et 3 partiellement.

De Ajuriaguerra et ses collaborateurs sont donc interpellés par la dissociation entre l'échec aux épreuves de conservation (retard de 3 à 4 ans en moyenne, voire parfois davantage) et la réussite aux épreuves du stade pré-formel et s'interrogent sur d'éventuels mécanismes compensatoires.

Il convient de souligner ici que l'étude a tout de même mis en évidence deux sous-groupes parmi ces enfants : un sous-groupe dans lequel les troubles moteurs dominant et un autre sous-groupe dans lequel ce sont les troubles graves de la personnalité qui dominant ; ils

décrivent ces enfants comme étant « prépsychotiques ». Rappelons en effet, que De Ajuriaguerra n'excluait pas de sa population dyspraxique les enfants présentant des troubles graves du développement de la personnalité et que ces enfants, sur le plan cognitif, présentent souvent des tableaux hétérogènes.

3.2.4 Autres théories

Leroy-Malherbe (2005) évoque des troubles d'accès à la notion de zéro, à la représentation des quantités et à la conservation du nombre chez l'enfant dyspraxique ancien prématuré. Se demandant si ces difficultés sont plutôt d'ordre spatial ou logique, elle s'appuie sur le modèle de Dehaene (1997) (qui conçoit la représentation mentale des quantités sous la forme d'une ligne orientée de gauche à droite) et émet une hypothèse qui va plutôt dans le sens d'une difficulté spatiale mais la question reste posée.

Crouail (2008), qui a travaillé auprès d'enfants dyspraxiques cérébro-lésés avec Mazeau, justifie ce bon raisonnement logique en dépit de mauvaises compétences spatiales en adoptant un point de vue neuropsychologique : l'enfant dyspraxique (dyspraxie lésionnelle) pourrait être plus efficace dans les processus cognitifs descendants (les processus de haut niveau, c'est-à-dire le langage, la mémoire, le raisonnement et les fonctions exécutives, dominant et organisant les données perceptives) que dans les processus cognitifs ascendants (les données perceptives, sensori-motrices et visuo-spatiales, qui informent et structurent les processus de haut niveau).

Pour Franc (2005), l'enfant dyspraxique est en difficulté dans les acquisitions du stade des opérations concrètes (sériation, classification, conservation) mais parvient tout de même à accéder au stade des opérations formelles. Il parvient à un bon niveau de raisonnement hypothético-déductif à partir du matériel symbolique, pour lequel la manipulation n'est plus nécessaire. De Barbot (2005) fait les mêmes observations chez un groupe de 14 enfants IMC présentant une dyspraxie constructive, sélectionnés sur deux critères : un bon QI verbal et des difficultés scolaires en mathématiques. Chez ces enfants, on observe une persistance des difficultés en mathématiques non seulement sur les aspects spatiaux mais également dans les épreuves de maniement du concept de nombre. Le bon niveau de QI verbal permet à certains d'accéder à une pensée formelle alors qu'ils ont encore des difficultés à raisonner sur des

tâches du stade des opérations concrètes ; mais, la thèse soutenue par Piaget selon laquelle l'enfant dyspraxique met en place des mécanismes compensatoires, n'est ici que partiellement vérifiée avec les enfants IMC car ils conservent des difficultés de raisonnement à partir de matériel concret.

Meljac et Lemmel (2007) ont observé un échec des enfants dyspraxiques (dyspraxie développementale) dans les épreuves de conservation et expliquent cela par un attachement de ces enfants à ce qu'ils perçoivent. Cette théorie s'oppose aux observations de Mazeau (2005) qui décrit une préservation du leurre perceptif chez l'enfant IMC. Ils ont également observé de grandes difficultés pour ces enfants lors de l'épreuve de sériation, car la base est souvent impossible à établir. Les classifications peuvent être réussies sur un mode verbal car très vite, l'enfant dans sa manipulation des cartes ne s'y retrouve pas. Enfin, l'inclusion est possible si l'enfant ne regarde pas le matériel.

Nous avons vu que l'acquisition du nombre requiert :

- Selon Piaget (1959) et les néo-piagétiens, l'accès aux concepts de logique élémentaire développés par Piaget (sériation, classification et inclusion)
- Selon certains auteurs contemporains, aux concepts piagétiens s'ajoutent la nécessité d'expériences multiples de dénombrement (Chalon-Blanc, 2005) et des compétences dans la quantification (Lussier et Flessas, 2009).

Le développement des opérations logiques au stade des opérations concrètes nécessite selon Piaget :

- L'accès aux différentes conservations (quantités discontinues, longueurs, substance, poids et dissociation poids/volume). Pour cela, l'enfant doit dépasser ce qu'il perçoit immédiatement pour comprendre que les états sont le résultat de transformations.
- L'accès aux opérations logiques élémentaires. Pour cela, l'enfant doit être capable de faire des abstractions réfléchissantes.

Les expériences de dénombrement, pour qu'elles permettent de construire un nombre stable, nécessitent (Camos et coll., 1998) :

- La connaissance des mots-nombres dans l'ordre,
- Un pointage correct,
- La coordination de ces habiletés,
- L'organisation du regard et du pointage,
- L'organisation de l'espace.

Chez l'enfant dyspraxique, on retrouve à la fois :

- Des difficultés dans les manipulations quotidiennes et des difficultés dans les repérages spatiaux et temporels (Lussier et Flessas, 2009).
- Des difficultés dans le dénombrement et la quantification du fait d'un pointage défectueux, de difficultés dans la coordination entre le pointage et l'énumération de la chaîne numérique (Camos et coll., 1998) et de difficultés dans l'organisation de l'espace (Duquesne-Belfais, 2006).

A partir de ces observations, nous pouvons nous demander ce qu'il advient de l'accès aux opérations du stade des opérations concrètes et de la construction du nombre chez l'enfant dyspraxique.

En résumé, on retrouve chez l'enfant IMC :

- Une absence de trouble au stade des opérations concrètes pour Mazeau (2005) et Crouail (2008). Mais De Barbot (2005) relève un trouble du développement des opérations concrètes suivi d'un bon développement au stade des opérations formelles.
- Mazeau (2005) décrit une difficulté de construction d'un nombre stable du fait des difficultés de dénombrement mais grâce à des mécanismes compensatoires, l'enfant n'aurait pas de difficultés d'ordre conceptuel dans la manipulation du nombre. Cependant, Leroy-Malherbe (2005) décrit une difficulté dans la conservation du nombre et la représentation des quantités.

Chez les enfants dyspraxiques, parmi lesquels on trouve des enfants prépsychotiques, De Ajuriaguerra (1964) relève :

- Une absence de trouble du développement du raisonnement logique (classification et sériation) mais les conservations sont nettement échouées.

Dans la dyspraxie développementale, Franc (2005), Meljac et Lemmel (2007) retrouvent des difficultés d'acquisition :

- Des conservations,
- Et de la sériation.
- La classification est réussie sur un mode verbal selon Meljac et Lemmel (2007) alors qu'elle est échouée selon Franc (elle ne précise pas le mode de passation).

Nous l'avons vu, les observations sont très variables d'un auteur à l'autre dans leurs descriptions du développement des opérations concrètes chez les enfants dyspraxiques. La question que nous nous posons est de savoir si, dans la dyspraxie développementale, on retrouve un profil-type de fonctionnement au stade des opérations concrètes et comment se réalise la construction du nombre pour ces enfants, au-delà des aspects spatiaux.

Partie 4 : Déroulement de l'étude

4.1 Méthodologie

4.1.1 Problématique

Selon Piaget le développement du raisonnement logique se met en place à partir des premières manipulations de l'enfant qui expérimente et assimile les données perceptives spatiales et temporelles immédiates. Petit à petit, l'enfant se décentre de ces données immédiates car il devient capable de se les représenter mentalement, c'est le début de l'intelligence et de la pensée conceptuelle. Dès lors, l'enfant opère mentalement et la pensée opératoire se met en place. A travers ses expériences quotidiennes de manipulations et grâce à la moindre domination de la perception immédiate, il va isoler des invariants et progressivement acquérir les principes de conservation et la capacité d'isoler des critères de ressemblance et de différence ; les structures logiques élémentaires (inclusion des classes et sériation) vont se mettre en place. Bruner (1983) a également évoqué les *savoir-faire de manipulation* qui permettent d'accéder à la pensée logique telle que décrite par Piaget. Nous avons vu que la théorie de Piaget avait fait l'objet de critiques non pas sur le développement de la pensée logique mais plutôt sur le rôle de la perception du nouveau-né, qui est déjà une forme d'intelligence selon les néo-piagétiens. Aujourd'hui, les auteurs ajoutent à la théorie de Piaget l'importance des expériences de quantification et dénombrement dans la construction du nombre.

Les enfants dyspraxiques rencontrent des difficultés à la fois dans le traitement visuo-spatial, dans la perception du temps et dans le développement des praxies permettant la mise en place de manipulations fines et globales. Nous pouvons donc nous demander ce qu'il advient de l'acquisition des principes de conservation et du développement du raisonnement logique (classification, sériation et inclusion) dans le cadre d'une dyspraxie développementale.

4.1.2 Hypothèses et objectifs

L'accès au stade des opérations concrètes et le développement du raisonnement logique sont perturbés chez l'enfant dyspraxique du fait des difficultés de traitement des données visuo-spatiales et temporelles et des difficultés de manipulation. Si l'enfant dyspraxique, dans le cadre d'une infirmité motrice cérébrale ou souffrant d'un trouble grave du développement de la personnalité, compense ses difficultés, il est possible qu'il en soit autrement chez l'enfant présentant une dyspraxie de développement. En effet, d'une part nous supposons que la lésion cérébrale du jeune enfant IMC peut générer des processus cognitifs particuliers, d'autre part nous pensons que nous ne pouvons pas comparer les performances des enfants dyspraxiques avec les performances d'enfants souffrant de troubles graves du développement de la personnalité dont les tableaux cognitifs sont souvent très hétérogènes.

Nous supposons également que ce trouble du développement du raisonnement logique entraîne un trouble dans l'acquisition, la construction et la manipulation du nombre, au-delà de tout ce qui concerne les données spatiales impliquées en mathématiques.

4.2 Recrutement de la population

4.2.1 Critères d'inclusion

Nous avons recruté des enfants présentant une dyspraxie développementale, âgés de 6 à 12 ans, avec ou sans troubles des apprentissages associés.

4.2.2 Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion sont les infirmités motrices cérébrales ou toute autre lésion cérébrale, les grandes prématurités et le retard mental.

4.2.3 Description de la population

20 enfants ont participé à cette étude. Le sex-ratio est de 13 garçons (soit 2/3) et 7 filles (soit 1/3).

La répartition en âge est la suivante :

- 3 enfants de 6 ans
- 2 enfants de 7 ans
- 5 enfants de 8 ans
- 3 enfants de 9 ans
- 2 enfants de 10 ans
- 4 enfants de 11 ans
- 1 enfant de 12 ans

La répartition dans les niveaux scolaires est la suivante :

- 4 enfants en CP
- 3 enfants en CE1
- 1 enfant en CLISS, avec intégration en CE2 pour les mathématiques
- 4 enfants en CE2
- 3 enfants en CM1
- 3 enfants en CM2
- 2 enfants en 6^{ème}

11 enfants présentent des troubles associés à la dyspraxie :

- 5 enfants présentent un TDA/H et 1 une suspicion de TDA/H
- 3 enfants sont dyslexiques
- 2 enfants sont dysphasiques

4.3 Evaluation

4.3.1 Tests utilisés

Nous avons choisi de proposer aux enfants des épreuves issues de la batterie UDN2, correspondant au stade des opérations concrètes décrit par Piaget : épreuves de conservation et épreuves évaluant le raisonnement logique. Ensuite, nous avons proposé le test Zareki-R permettant d'évaluer l'acquisition de la notion de nombre et la manipulation des nombres lors d'activités plus scolaires. Enfin, nous avons élaboré un questionnaire d'anamnèse proposé à chacun des parents afin de rechercher des particularités développementales communes pouvant générer des pistes de réflexion concernant les troubles logico-mathématiques.

A. UDN2

L'UDN2 est une batterie issue des travaux de Piaget. Elle est essentiellement basée sur l'observation de l'enfant au cours des tâches proposées et s'inspire également de la théorie de la « zone proximale de développement » de Vygotski : l'enfant doit être capable de mettre en place un raisonnement et l'examineur doit inciter l'enfant à réfléchir, il doit étayer son raisonnement par des suggestions verbales, des aides et des démonstrations. Nous avons proposé les épreuves évaluant l'accès au stade des opérations concrètes :

- Épreuves de conservation (quantités discontinues, longueurs, substance, poids et dissociation poids/volume)
- Épreuves de logique élémentaire (sériation, classification et inclusion).

Nous n'avons pas proposé l'épreuve de transitivité faisant partie des épreuves logiques car elle implique des compétences particulièrement déficitaires chez l'enfant dyspraxique : découpage aux ciseaux et évaluation des longueurs. Cette épreuve est souvent impossible pour les enfants dyspraxiques (Meljac et Lemmel, 2007).

Dans la tradition piagétienne, la cotation est réalisée à partir d'une analyse qualitative des réponses. L'examineur observe les procédures mises en place et les réponses apportées puis détermine le niveau de l'enfant.

Il existe trois niveaux :

- Le niveau réussite : l'enfant accède au principe évalué
- Le niveau échec : l'enfant échoue totalement l'épreuve
- Le niveau intermédiaire : il est difficile à interpréter et nécessite une analyse qualitative précise car l'enfant n'accède pas encore au principe évalué mais il n'est pas totalement en échec.

Les épreuves de conservation s'organisent en trois temps :

- Premier temps : les éléments sont disposés de telle façon que l'enfant doit parvenir à dégager et à affirmer l'idée d'identité, d'égalité ou d'équivalence (par exemple deux collections en disposition terme à terme ou deux boules de pâte à modeler de taille ou de poids identiques...)
- Deuxième temps : l'examineur transforme l'état d'un des deux éléments de telle sorte que l'enfant ne peut plus s'appuyer sur la perception immédiate pour parvenir à affirmer l'identité, l'égalité ou l'équivalence.
- Troisième temps : l'examineur propose une contre-suggestion à l'enfant. Cette contre-suggestion est une stratégie mise en place par Piaget qui permet, d'une part de tester l'aplomb de l'enfant dans son jugement de conservation ou de non-conservation, d'autre part de relever les arguments qu'il utilise. L'examineur propose la consigne suivante :
« L'autre jour, un enfant de ton âge a dit... » (puis l'argument contraire de ce qu'affirme l'enfant testé) *« comment tu lui expliquerais, toi, pourquoi tu ne penses pas comme lui ? »*.

L'épreuve de conservation des quantités discontinues consiste à demander à l'enfant de disposer des petites bouteilles en verre et des bouchons dans une correspondance terme à terme :

« Prends autant, la même chose beaucoup, pareil, le même nombre, pas plus, pas moins, de bouchons que de bouteilles. Mets bien un bouchon en face de chaque bouteille ».

Puis l'examineur change la disposition (il resserre les éléments) de l'une puis de l'autre collection ; l'enfant doit dire si le nombre d'éléments est modifié :

« Est-ce qu'il y a bien autant, la même chose beaucoup, pareil, le même nombre de bouchons que de bouteilles ? ».

Enfin, l'examineur propose une contre-suggestion.

Normalement, cette épreuve n'est proposée qu'aux enfants échouant à l'épreuve de conservation des longueurs mais nous l'avons présentée à tous les enfants car elle nous a semblé intéressante d'un point de vue qualitatif.

L'épreuve de conservation des longueurs consiste d'abord à isoler deux baguettes de même longueur parmi dix baguettes. L'examineur donne la consigne suivante :

« Il y a deux baguettes grandes pareilles. Trouve-les ».

Cette épreuve, que nous appellerons l'épreuve du choix des baguettes, ne fait pas partie de la famille des épreuves de conservation mais elle nous a semblé intéressante à proposer aux enfants dyspraxiques.

Ensuite, ces deux baguettes sont alignées sur la table. L'examineur décale d'abord les baguettes verticalement, puis horizontalement. A chaque transformation, il demande :

« Est-ce qu'elles sont bien grandes pareilles ? Comment le sais-tu ? Explique-moi ».

Puis il présente la contre-suggestion.

Les épreuves de conservation de la substance et du poids sont réalisées avec une boule de pâte à modeler. On ne propose pas ces deux épreuves à un même enfant mais l'une ou l'autre, en fonction de son niveau. L'enfant doit d'abord faire deux boules avec :

- la même quantité de pâte à modeler pour l'épreuve de conservation de la substance :

« Tu vois cette grosse boule, arrange-toi pour faire deux boules où il y ait pareil de pâte à modeler, pas plus pas moins, la même chose de pâte à modeler »

- ou le même poids pour l'épreuve de conservation du poids :

« Tu vois cette grosse boule, arrange-toi pour faire deux boules, qui pèsent le même poids, lourdes pareilles ».

Puis l'examineur change trois fois la forme d'une des deux boules (un saucisson, une galette puis des miettes). A chaque fois il demande à l'enfant :

« Et maintenant qu'est-ce que tu en penses ? ».

Si l'enfant ne parle pas spontanément de la quantité ou du poids il demande alors :

- Dans l'épreuve de conservation de la substance :

« Est-ce qu'il y a bien pareil de pâte à modeler, la même chose de pâte à modeler dans le saucisson que dans la boule ou plus dans le saucisson ou plus dans la boule ? Comment le sais-tu ? Explique-moi »

- Dans l'épreuve de conservation du poids :

« Est-ce que la galette pèse le même poids que la boule, pareil que la boule ? Est-ce qu'elles sont aussi lourdes l'une que l'autre ou est-ce que l'une des deux pèse plus lourd ou moins lourd que l'autre ? Comment le sais-tu ? Explique-moi ».

Enfin, dans une dernière étape, l'examineur propose la contre-suggestion.

L'épreuve de dissociation poids/volume est réalisée à l'aide de tubes transparents dans lesquels on place un peu d'eau. L'enfant doit d'abord égaliser les niveaux d'eau puis il doit faire des prédictions sur ce qui va se passer lorsque l'examineur plongera des cylindres dans les tubes. L'examineur propose d'abord une prévision simple où il plonge deux cylindres de même poids chacun dans un tube :

« Si on plonge ces deux cylindres dans l'eau, chacun dans un tube, que se passera-t-il ? Et pourquoi ? ».

Si l'enfant prédit correctement la montée des niveaux d'eau, l'examineur propose une prévision complexe pour laquelle l'enfant doit être capable de dissocier le poids du volume :

« Si je mets ce cylindre-ci (en désignant un cylindre en aluminium) dans ce tube et ce cylindre-là (en désignant le cylindre de laiton) dans celui-là, que se passera-t-il et pourquoi ? ».

L'épreuve de sériation consiste à ranger dix baguettes de bois selon une sériation. L'examineur observe si l'enfant organise spontanément une sériation :

« Tu vois ces baguettes, range-les le mieux possible sur la table »

Puis il analyse la procédure mise en place par l'enfant.

L'épreuve de classification consiste à classer des cartes. La consigne de départ est volontairement imprécise :

« Tu vois ces cartes, elles représentent des objets qui ne sont pas pareils, mais certains vont cependant bien ensemble. Mets ensemble ce qui va bien ensemble ».

L'enfant doit être capable d'isoler un critère de rangement. Ensuite, l'examineur sollicite sa capacité à faire abstraction du premier critère pour en isoler un nouveau :

« Ton premier classement était excellent, mais il y a encore une autre façon de mettre ensemble ce qui va bien ensemble ».

En fonction du niveau de l'enfant l'examineur propose de classer neuf cartes (deux critères sont à isoler : forme et couleur) ou vingt-sept cartes (trois critères sont à isoler : forme, couleur et taille).

L'épreuve d'inclusion consiste à répondre à des questions d'inclusion relatives à un bouquet de fleurs composé de violettes et de marguerites. La consigne donnée pour le premier jugement spontané est la suivante :

« Dans ce bouquet, est-ce qu'il y a plus de fleurs ou plus de marguerites ? ».

Si l'enfant répond correctement, l'examineur propose trois extensions :

- « *Sur la Terre entière, est-ce qu'il y a plus de fleurs ou plus de marguerites ?* »
- « *Imagine que je mette une marguerite, une marguerite, une marguerite, comme cela pendant longtemps. Y aura-t-il un moment où je trouverai plus de marguerites que de fleurs ?* »
- « *Peut-on faire quelque chose pour avoir plus de marguerites que de fleurs ?* »

B. Zareki-R

Le Zareki-R est un test destiné au dépistage des troubles du calcul et du traitement des nombres. Il propose douze épreuves évaluant les compétences dans l'acquisition et dans la manipulation du nombre : 6 épreuves font appel à des données visuo-spatiales et 6 autres n'y font pas appel.

Epreuves spatiales	Epreuves non spatiales
- Dénombrement de points - Dictée de nombres - Lecture de nombres - Positionnement de nombres sur une échelle verticale - Estimation visuelle de quantités - Comparaison de deux nombres écrits	- Comptage oral à rebours - Calcul mental oral - Répétition de chiffres - Comparaison de deux nombres présentés oralement - Estimation qualitative de quantités en contexte - Problèmes arithmétiques présentés oralement

Figure 3 : tableau de présentation des épreuves spatiales et non spatiales du Zareki-R

Nous pourrions ainsi observer s'il existe un trouble de l'acquisition du nombre et nous pourrions nous interroger sur une éventuelle dissociation entre des épreuves qui font intervenir les compétences visuo-spatiales et les autres épreuves.

Ces épreuves sont des épreuves classiques, nous ne développerons pas les consignes et cotation de chacune. Cependant, certaines épreuves sont plus originales :

- **Positionnement de nombres sur une échelle verticale** ; il s'agit de positionner un nombre sur une échelle en fonction de sa valeur. L'enfant doit d'abord placer des nombres dictés par l'examineur sur une échelle où les traits sont marqués :

« Sur cette feuille il y a une ligne droite avec des petits traits. C'est ce qu'on appelle une échelle de nombres. Montre-moi, s'il te plaît, le trait le plus bas qui correspond à zéro. Maintenant montre-moi le trait tout en haut qui correspond à 100. Cette échelle de nombres va donc de 0 à 100. Le nombre que je vais te dire correspond à un des traits entre 0 et 100. J'aimerais que tu me montres le trait qui correspond au nombre... ».

Les trois premiers items sont dictés puis les trois suivants doivent être lus par l'enfant. Les six derniers items sont réalisés de la même façon (les trois premiers sont dictés et les trois suivants sont à lire) mais les nombres sont à placer sur des échelles vierges :

« Ici, il y a une feuille avec trois échelles de nombres, qui vont de 0 à 100. Il n'y a pas de traits sur les lignes. J'aimerais que sur ces lignes tu marques avec ton crayon les positions des nombres que je vais te dire ».

- **Estimation visuelle de quantités** ; il s'agit de dire approximativement le nombre d'éléments d'une collection sans dénombrer :

« Je vais te montrer des feuilles sur lesquelles il y a des points, des balles de tennis, des verres. J'aimerais que tu me dises combien, à peu près, il y a d'objets dessinés sur chaque feuille. Tu pourras regarder ces feuilles seulement un petit moment et tu n'auras pas le temps de compter les objets un à un. Tu es prêt ? Regarde bien et dis-moi combien il y en a, à peu près ».

- **Estimation qualitative de quantités en contexte** ; différentes quantités de choses en situation sont présentées à l'enfant qui doit juger de leur valeur : beaucoup, normal/moyen ou peu :

« Je vais te dire des quantités de différentes choses et tu me diras si c'est peu, moyen ou beaucoup ».

C. Questionnaire d'anamnèse

Nous avons rédigé un questionnaire anamnestique interrogeant la chronologie du développement de chaque enfant (cf. annexe 3 page 158). Ce questionnaire comprend les

questions habituelles de l'anamnèse (déroulement de la naissance, antécédents familiaux, parcours scolaire...) et des questions plus spécifiques concernant le diagnostic de dyspraxie (âge du diagnostic, type de dyspraxie, troubles associés...). Nous avons ajouté à ce questionnaire des questions sur le développement de l'exploration de l'environnement matériel (intérêt manifesté vis-à-vis de cet environnement, manipulation des objets...), sur les jeux de l'enfant (types de jeu, intérêt vis-à-vis des jeux de construction, type de console vidéo...) et sur la qualité de son repérage dans le temps. En effet, il nous semblait intéressant de rechercher des éléments développementaux communs à ces enfants dyspraxiques pouvant éventuellement expliquer les troubles logico-mathématiques ou nous donner des pistes de réflexion sur le développement des structures logiques.

4.3.2 Déroulement de l'évaluation

Chaque évaluation s'est déroulée au domicile de l'enfant. Nous étions installés à un bureau ou une table afin que se déroulent au mieux les manipulations nécessaires, notamment lors de la passation de l'UDN2.

Une seule rencontre d'une durée variant de 1 heure à 1 heure 30 environ, a suffi à chacun des enfants. Ces rencontres se déroulaient de la façon suivante :

- Nous proposons d'abord l'ensemble des épreuves du Zareki-R dont la passation dure en moyenne 30 minutes.
- Puis les épreuves plus ludiques de l'UDN2 dont la passation dure en moyenne 50 minutes. Pour la passation de ces épreuves nous avons suivi l'ordre indiqué dans le manuel de l'UDN2 (cf. annexe 4 p. 166)

Nous sommes restés attentifs à la fatigabilité de ces enfants et nous avons proposé des pauses lorsque l'enfant le désirait. Nous sommes également restés vigilant à l'heure de prise du traitement, lorsque l'enfant était sous traitement pour un déficit attentionnel. Ces évaluations avaient lieu le mercredi ou le samedi selon les emplois du temps des enfants mais elles n'ont jamais eu lieu le soir après l'école. Les parents ont rempli seuls le questionnaire d'anamnèse pendant que nous réalisions la passation des épreuves avec les enfants.

Partie 5 : Présentation des résultats

5.1 Résultats aux épreuves de conservation de l'UDN2

Pour chacune des épreuves nous avons calculé les taux de niveau de réussite, niveau intermédiaire et niveau d'échec à partir de l'âge-clé d'acquisition.

5.1.1 Conservation des quantités discontinues

L'épreuve de conservation des quantités discontinues a été proposée à tous les enfants de l'étude.

Age-clé d'acquisition : 7 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	3	1	1	1
7 ans	2	2	0	0
8 ans	5	4	1	0
9 ans	3	3	0	0
10 ans	2	2	0	0
11 ans	4	4	0	0
12 ans	1	1	0	0
Total (de 7 à 12 ans)	17	16 94.11%	1 5.88%	0

Figure 4 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation des quantités discontinues

Par rapport à l'âge-clé nous observons les écarts suivants :

	Ecart
Niveau réussite	+1 an : 1
Niveaux intermédiaire	-1 an : 1

Figure 5 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation des quantités discontinues

Dans notre population, le retard d'acquisition de la conservation des quantités discontinues n'est pas révélateur. Notons toutefois que parmi la population d'étalonnage de l'UDN2 50% des enfants de 6 ans réussissent cette épreuve contre 33.33% (1 enfant sur 3) dans notre population.

➤ Aspect qualitatif

1 seul enfant commet une erreur dans la mise en correspondance terme à terme.

Il est intéressant de noter que parmi les 17 enfants qui ont acquis le principe de conservation des quantités discontinues, 5 ont besoin, lors des différentes transformations, de compter pour affirmer l'égalité et 3 autres, sans compter, utilisent l'argument du nombre pour affirmer l'égalité.

5.1.2 Conservation des longueurs

Cette épreuve a été proposée à tous les enfants.

Age-clé d'acquisition : 10 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	3	0	0	3
7 ans	2	0	0	2
8 ans	5	1	0	4
9 ans	3	0	0	3
10 ans	2	1	0	1
11 ans	4	2	1	1
12 ans	1	1	0	0
Total (de 10 à 12 ans)	7	4 57.14%	1 14.28%	2 28.57%

Figure 6 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation des longueurs

Intéressons nous maintenant aux écarts par rapport à l'âge-clé :

	Ecarts
Niveau réussite	+ 2 ans : 1
Niveaux intermédiaire	- 1 an : 1
Niveau échec	- 1 an : 1 A l'âge-clé : 1

Figure 7 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation des longueurs

Le retard d'acquisition de la conservation des longueurs est révélateur dans notre population : 42.85% (3/7 enfants). Notons également que parmi la population d'étalonnage de l'UDN2, 50% des enfants de 9 ans réussissent cette épreuve contre 0% (0/3 enfants) dans notre population, qui sont encore en échec total.

➤ Aspect qualitatif

4 enfants ont eu besoin d'aide pour accéder à la conservation de la longueur lors du premier décalage vertical. Parmi ces 4 enfants, 2 enfants réussissent ensuite parfaitement les épreuves de conservation de la longueur lors des décalages latéraux. Les 2 autres ne parviennent pas au principe de conservation, même après l'aide.

Enfin, 1 enfant a éprouvé le besoin de toucher les baguettes, il a demandé une règle et a compté des unités imaginaires sur chacune des baguettes. Il n'accède pas à la conservation.

Au début de cette épreuve nous avons proposé à chaque enfant l'épreuve facultative du choix des baguettes (il s'agit de trouver les 2 baguettes de la même longueur). Cette épreuve n'est pas étalonnée mais la démarche de ces enfants dyspraxiques est intéressante à observer.

5 enfants seulement réussissent. Ils ont mis spontanément en place une stratégie efficace et ont pu isoler les 2 baguettes dès le premier essai. Parmi ces 5 enfants, 4 réussissent également l'épreuve de sériation des 10 baguettes, le dernier a un niveau intermédiaire. L'un des enfants qui réussit à la fois l'épreuve du choix des baguettes et de la sériation bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.

5 enfants ont un niveau intermédiaire. Après démonstration (on aligne toutes les baguettes sur une base commune), ils parviennent à isoler les 2 baguettes. Parmi eux, 2 réussissent l'épreuve de sériation des 10 baguettes, 2 autres ont un niveau intermédiaire et le dernier échoue.

Les 10 enfants échouant à cette épreuve ne peuvent reprendre la stratégie montrée par l'examineur et, souvent, ne perçoivent pas l'égalité des 2 baguettes placées dans un alignement. Tous les enfants âgés de 6 à 7 ans échouent ; au-delà, nous n'observons pas de lien entre l'âge et le niveau atteint.

Parmi ces 10 enfants :

- 3 réussissent l'épreuve de sériation, parmi lesquels 2 bénéficient d'une prise en charge logico-mathématique,
- 6 autres atteignent un niveau intermédiaire, parmi eux 2 bénéficient d'une prise en charge logico-mathématique,
- Et le dernier échoue.

5.1.3 Conservation de la substance

Selon le protocole de passation de l'UDN2 nous proposons l'épreuve de conservation de la substance si l'enfant échoue à l'épreuve de conservation des longueurs. Le cas échéant nous lui proposons l'épreuve de conservation du poids.

L'épreuve de conservation de la substance a été proposée à 9 enfants.

Age-clé d'acquisition : 9 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	3	0	1	2
7 ans	2	1	0	1
8 ans	4	0	1	3
9 ans				
10 ans				
11 ans				
12 ans				
Total (de 9 à 12 ans)				

Figure 8 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation de la substance

Tous les enfants de 9 ans et plus ont passé l'épreuve de conservation du poids, ceci explique l'absence de résultats à partir de 9 ans.

Par rapport à l'âge-clé nous observons les écarts suivants :

- 1 réussite 2 ans avant l'âge clé.

Nous n'observons pas de retard manifeste dans cette épreuve. Nous pouvons toutefois noter que parmi la population d'étalonnage de l'UDN2 la réussite est majoritaire pour au moins 50% des enfants entre 7 et 9 ans contre 16.66% (1/6 enfants) dans notre population.

➤ Aspect qualitatif

2 enfants ont des difficultés à percevoir et à affirmer l'égalité des 2 boules de pâte à modeler au début de l'épreuve. L'un d'eux ne réussit aucune des conservations mais il accepte la contre-suggestion conservante en affirmant qu'il s'est trompé lors des transformations.

2 autres enfants échouent lors de la première transformation mais affirment ensuite la conservation de la substance et refusent la contre-suggestion non conservante.

5.1.4 Conservation du poids

Les 11 enfants auxquels l'épreuve de conservation de la substance n'a pas été proposée ont passé l'épreuve de conservation du poids.

Age-clé d'acquisition : 10 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau Réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans				
7 ans				
8 ans	1	1		
9 ans	3	0	2	1
10 ans	2	0	2	0
11 ans	4	2	1	1
12 ans	1	0	1	0
Total (de 10 à 12 ans)	7	2 28.57%	4 57.14%	1 14.28%

Figure 9 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation du poids

Par rapport à l'âge-clé nous observons les écarts suivants :

	Ecart
Niveau réussite	+ 2 ans : 1
Niveaux intermédiaire	- 2 ans : 1
	- 1 an : 1
	A l'âge-clé : 2
Niveau échec	- 1 an : 1

Figure 10 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation du poids

Le retard d'acquisition de la conservation du poids est donc assez important : 71.42% (5/7 enfants). Notons également que parmi la population d'étalonnage de l'UDN2 50% des enfants entre 7 et 10 ans réussissent cette épreuve contre 25% (1/4 enfants) dans notre population.

➤ Aspect qualitatif

2 enfants (l'un en échec, l'autre au niveau intermédiaire) éprouvent le besoin de toucher pour confirmer ou infirmer l'égalité des boules de pâte à modeler.

Nous observons une particularité chez les enfants du niveau intermédiaire : 1 enfant conserve lors des 2 premières transformations puis modifie sa stratégie en ne conservant pas sur la dernière transformation et refusant la contre-suggestion conservante. Inversement, 3 enfants se rendent compte de leurs erreurs sur les 2 premières transformations, ils conservent lors de la dernière transformation et refusent la contre-suggestion non conservante. 1 dernier enfant conserve sur la première transformation, ne conserve plus sur les 2 dernières et accepte finalement la contre-suggestion conservante.

5.1.5 Dissociation poids/volume

Cette épreuve a été proposée à 2 enfants seulement. En effet, le principe de conservation du poids doit être acquis pour réaliser cette épreuve. 3 enfants ont acquis ce principe mais l'un d'eux est âgé de 8 ans, soit 2 ans d'avance sur l'âge-clé, nous ne lui avons pas proposé cette épreuve de dissociation poids/volume.

Pour cette épreuve aucun âge-clé n'est défini.

➤ Aspect quantitatif

Nous observons :

- 1 enfant de 11 ans obtient un niveau intermédiaire,
- L'autre enfant, âgé de 11 ans également, est en échec.

Nous n'observons pas de retard révélateur à cette épreuve.

➤ Aspect qualitatif

L'enfant qui est au niveau intermédiaire donne des réponses correctes aux prévisions simples. Il se trompe aux prévisions complexes mais comprend son erreur à la fin de l'épreuve et parle alors du volume des cylindres.

L'enfant qui est en échec commet des erreurs aux prévisions simples et complexes et ne comprend pas le résultat des expérimentations ; il est important de noter que cet enfant ne perçoit pas l'identité des niveaux d'eau des deux cylindres.

5.1.6 Synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de conservation

Conservation des quantités discontinues	Conservation des longueurs	Conservation de la substance	Conservation du poids
5.88% (1/17 enfants) de retard*	42.85% (3/7 enfants) de retard*	0% de retard*	45.45% (ou 5/11 enfants) de retard*
33.33% (1/3 enfants) de réussite**	0% (0/3 enfants) de réussite**	16.66% (1/6 enfants) de réussite**	25% (ou 1/4 enfants) de réussite**

Figure 11 : tableau de synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de conservation

* sur la population totale ayant atteint l'âge-clé

** à un âge où la réussite est d'au moins 50% dans la population d'étalonnage

Nous voyons que les retards sont révélateurs aux épreuves de conservation des longueurs (42.85% de retard) et de conservation du poids (45.45% de retard). Nous remarquons également que lorsqu'au moins 50% des enfants de la population d'étalonnage réussissent les conservations, cette proportion est très inférieure dans notre population.

5.2 Résultats aux épreuves de logique élémentaire de l'UDN2

5.2.1 Sériation

Seule l'épreuve de sériation des 10 baguettes a été proposée.

Cette épreuve a été proposée à tous les enfants de l'étude.

Age-clé d'acquisition : 7 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	3	0	2	1
7 ans	2	1	1	0
8 ans	5	3	2	0
9 ans	3	0	2	1
10 ans	2	2	0	0
11 ans	4	3	1	0
12 ans	1	0	1	0
Total (de 7 à 12 ans)	17	9 52.94%	7 41.17%	1 5.88%

Figure 12 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de sériation

Par rapport à l'âge-clé nous observons les écarts suivants :

	Ecart
Niveaux intermédiaire	-5 ans : 1
	-4 ans : 1
	-2 ans : 2
	-1 an : 2
	à l'âge-clé : 1
Niveau échec	- 2 ans : 1

Figure 13 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de sériation

Au total, 47.05% (8/17 enfants) de notre population n'ont pas encore acquis le principe de sériation au-delà de l'âge-clé.

Notons également que parmi la population d'étalonnage de l'UDN2, à 6 ans, la réussite est majoritaire (au moins 50%) avec un taux d'échec inférieur à 10% contre 0% de réussite dans notre population et un taux d'échec de 33.33% (1 enfant sur 3).

Nous remarquons enfin qu'à partir de 10 ans, 5 enfants sur 7 réussissent l'épreuve de sériation. Avant 10 ans, seuls 4 enfants sur 13 y parviennent, l'un d'eux bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.

➤ Aspect qualitatif

Parmi les 20 enfants à qui cette épreuve a été proposée, seulement 13 enfants ont la démarche spontanée de ranger les baguettes dans une sériation. Parmi ces 13 enfants, 4 échouent dans leur tentative :

- 3 enfants tentent de réaliser une sériation sans base commune et comportant plusieurs erreurs d'ordre,
- 1 enfant tente de sérier les baguettes en les superposant les unes sur les autres, réalisant plusieurs erreurs d'ordre. Cette dernière démarche évoque une construction privilégiant l'aspect perceptif plutôt qu'un rangement.

Parmi ces 4 enfants échouant dans leur tentative de sériation, 1 seul enfant parvient à réaliser correctement la sériation après démonstration par l'examineur.

Les enfants qui réalisent correctement une sériation spontanée ont une démarche globalement similaire : ils procèdent généralement par insertion, posant dans un premier temps 2 ou 3 baguettes, puis insérant les autres une à une progressivement.

Parmi les 7 autres enfants qui ne réalisent pas de sériation spontanée, 4 enfants posent seulement les baguettes les unes à côté des autres, 1 enfant tente lui aussi une construction ludique en les superposant les unes sur les autres, 1 enfant réalise des couples (une petite baguette et une plus grande) étalés sur la surface de la table et enfin 1 enfant ne parvient pas à mettre en place de stratégie de rangement car il cherche 2 baguettes de la même longueur. Parmi ces 7 enfants seulement 2 parviennent à réaliser une sériation correcte après la démonstration de l'examineur.

Nous observons donc que parmi les 11 enfants qui ne réalisent pas une sériation sans erreur dès le premier essai, quelle que soit leur démarche à ce premier essai, seulement 3 enfants tirent profit de la démonstration de l'adulte et parviennent à une sériation correcte au deuxième essai.

5.2.2 Classification

Tous les enfants ont passé cette épreuve de classification :

- La classification de 9 cartes a été proposée à 3 enfants (après échec massif lors de la classification de 27 cartes).
Age-clé d'acquisition : 6 ans.
- La classification de 27 cartes a été proposée aux 17 autres enfants.
Age-clé d'acquisition : 11 ans.

➤ Aspect quantitatif

Classification de 9 cartes :

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	2	1	1	0
7 ans				
8 ans	1		1	
Total (de 6 à 8 ans)	3	1 33.33%	2 66.66%	0

Figure 14 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de classification de 9 cartes

Parmi ces 3 enfants :

- 1 enfant parvient à isoler les deux critères, il se situe au niveau attendu à son âge,
- Les 2 autres enfants sont en retard sur l'âge-clé d'acquisition : l'un avec un retard de 2 ans, l'autre a atteint l'âge-clé d'acquisition.

Nous devons toutefois signaler que l'épreuve de classification de 27 cartes a d'abord été présentée à ces 3 enfants. Lors de cette épreuve, une aide leur a été proposée et leur a permis de dégager un critère. C'est ce même critère qu'ils ont isolé lors de la classification de 9 cartes. Seul un enfant parvient donc à isoler le second critère, les 2 autres persévérant sur le premier critère isolé, même après les aides proposées.

Classification 27 cartes :

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	1		1	
7 ans	2	2	0	0
8 ans	4	2	2	0
9 ans	3	2	1	0
10 ans	2	1	1	0
11 ans	4	1	3	0
12 ans	1	0	1	0
Total (de 11 à 12 ans)	5	1 20%	4 80%	0

Figure 15 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de classification de 27 cartes

Si nous nous intéressons aux écarts aux 2 épreuves de classification (9 et 27 cartes) :

	Ecarts
Niveau réussite	+ 4 ans : 2 + 3 ans : 2 + 2 ans : 2 + 1 an : 1
Niveau intermédiaire	- 2 ans : 1 - 1 an : 1 A l'âge-clé : 4

Figure 16 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de classification

Nous remarquons que 35% des enfants (7/20 enfants), ont acquis le principe de classification avec une avance qui peut varier de 4 à 1 ans.

Notons, dans l'épreuve de classification de 27 cartes :

- A partir de 8 ans, la réussite est majoritaire (taux de réussite au moins égal à 50%) pour la population d'étalonnage contre 55.55% (soit 5 enfants sur 9) dans notre population.
- A partir de 9 ans l'échec est inférieur à 10% dans la population d'étalonnage, il est de 0% (0/5 enfants) dans notre population.

➤ Aspect qualitatif

Nous avons remarqué que 12 enfants sur 20 prennent en compte simultanément 2 ou 3 critères lors de la première classification.

Ce qui nous a interpellés dans cette épreuve est la difficulté pour certains enfants à percevoir les différences de taille. 9 enfants ont eu besoin d'aide pour isoler ce critère. L'aide n'a été bénéfique qu'à 6 d'entre eux. Nous remarquons que, même pour les enfants étant parvenus à isoler le critère, il est difficile de mettre en place une stratégie pour comparer et classer correctement les 3 tailles.

5.2.3 Inclusion

Cette épreuve a été proposée à tous les enfants de l'étude.

Age-clé d'acquisition : au-delà de 11 ans.

➤ Aspect quantitatif

Age	Effectif	Niveau réussite	Niveau intermédiaire	Niveau échec
6 ans	3	0	2	1
7 ans	2	0	1	1
8 ans	5	2	0	3
9 ans	3	0	2	1
10 ans	2	1	1	0
11 ans	4	2	1	1
12 ans	1	0	1	0
Total (âge-clé non défini)		5 25%	8 40%	7 35%

Figure 17 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve d'inclusion

L'âge-clé d'acquisition du principe d'inclusion se situant au-delà de 11 ans nous ne pouvons mettre en évidence aucun retard dans notre population.

75% des enfants de l'étude n'ont pas accès au concept d'inclusion.

Notons qu'à partir de 10 ans, parmi la population d'étalonnage du test, la réussite est majoritaire (50%) avec un échec inférieur à 10%. Dans notre population, ces taux sont sensiblement identiques avec un taux de réussite à 42.85% (3/7 enfants) et un taux d'échec de 14.28% (1 enfant sur 7).

➤ Aspect qualitatif

7 enfants ont répondu correctement dès le premier jugement spontané. Parmi eux seuls 3 répondent ensuite correctement à toutes les extensions.

Parmi les 13 enfants qui se sont trompés, 7 ont tiré profit de l'aide et ont pu répondre correctement au jugement après aide. Ces enfants ont ensuite répondu correctement à la première extension puis ont échoué sur les extensions suivantes. Les 6 autres enfants ont persévéré sur leur échec.

5.2.4 Synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de logique élémentaire

Sériation	Classification	Inclusion
47.05% (8/17enfants) de retard*	9 cartes : 66.66% (2/3 enfants) de retard*	0% de retard*
0% (3/3 enfants) de réussite**	27 cartes : 80% (4/5 enfants) de retard*	
	27 cartes : 55.55% (5/9 enfants) de réussite**	42.85% (3/7 enfants) de réussite**
33.33% (1/3 enfants) de taux d'échec***	0% de taux d'échec***	14.28% (1/7 enfants) de taux d'échec***

Figure 18 : tableau de synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de logique élémentaire

* sur la population totale ayant atteint l'âge-clé

** à un âge où la réussite est majoritaire (au moins 50% chez la population d'étalonnage)

*** à un âge où l'échec est inférieur à 10% dans la population d'étalonnage

Nous observons un retard manifeste aux épreuves de sériation (47.05% de retard) et de classification (66.66% à 9 cartes et 80% à 27 cartes).

A l'épreuve de sériation, à l'âge de 6 ans, le taux de réussite est très inférieur dans notre population (aucune réussite) comparé au taux de réussite de la population d'étalonnage (au moins 50%). Le taux d'échec est supérieur dans notre population (33.33%) contre 10% dans la population d'étalonnage.

5.3 Résultats aux épreuves du Zareki-R

Enfant	Age (ans)	Epreuves non spatiales (score brut)						Epreuves spatiales (score brut)					
		Ep. 2	Ep. 4	Ep.7	Ep. 8	Ep.10	Ep.11	Ep.1	Ep. 3	Ep.5	Ep.6	Ep. 9	Ep.12
1	6	0	0	10	10	3	2	4	4	4	3.5*	2	9
2	6	0	0	9	6	4	0	4	0*	2	2.5*	1*	5*
3	6	0	0	9	8	4	0	4	2*	0*	8	1*	5*
4	7	4	28	12	16	3	4	3*	12	16	13.5	5	10
5	7	0*	0*	6*	8	2	0	3*	2*	4	2*	3	8
6	8	4	11	6*	12	2	3	3*	14	16	6*	4	9
7	8	3	40	17	14	10	6	6	15	16	10.5*	5	10
8	8	0*	6*	12	6*	4	0*	4	10	12	4*	5	9
9	8	0*	10	6*	10	2	0*	6	5*	6*	4.5*	0*	7*
10	8	4	30	14	14	4	5	6	15	16	21	4	10
11	9	3	28	11	16	10	9	4	15	16	18.5	5	10
12	9	0*	2*	5*	10	5	0*	5	2*	2*	4*	1*	6*
13	9	3	30	12	12	4	2*	5	16	16	14.5	4	8*
14	10	4	39	13	8*	3*	8	6	16	16	17.5	3	10
15	10	4	23*	18	10*	6	7	6	16	12*	18.5	3	10
16	11	4	40	18	12	10	12	5	14	16	19.5	3	9*
17	11	4	32	16	14	10	9	5	16	16	17	4	10
18	11	1*	32	13	16	10	8	6	16	12*	18	4	10
19	11	4	38	19	14	10	12	5	16	16	17	3	10
20	12	0*	22*	13	16	4	4*	3*	12	16	8*	2*	10

Epreuves non spatiales :

Ep. 2 : comptage oral à rebours
 Ep. 4 : calcul mental oral
 Ep. 7 : répétition de chiffres
 Ep. 8 : comparaison de 2 nombres présentés oralement
 Ep.10 : estimation qualitative de quantités en contexte
 Ep. 11 : problèmes arithmétiques présentés oralement

Epreuves spatiales :

Ep. 1 : dénombrement de points
 Ep. 3 : dictée de nombres
 Ep. 5 : lecture de nombres
 Ep. 6 : positionnement de nombres sur une échelle verticale
 Ep. 9: estimation visuelle de quantités
 Ep.12 : comparaison de 2 nombres écrits

note* : performance dans le 1^{er} décile (performance qui se situe parmi les 10% des sujets les plus faibles de l'étalement).

Figure 19 : tableau de présentation des résultats aux épreuves du Zareki-R

Nous observons 3 profils dont la différence est assez révélatrice entre les épreuves spatiales et les épreuves non spatiales. Parmi ces profils :

- 2 enfants échouent massivement dans les épreuves spatiales : enfants 2 et 3. Ces 2 enfants ont 6 ans.
- 1 enfant échoue davantage dans les épreuves non spatiales : enfant 8. Cet enfant présente un TDA/H associé à la dyspraxie. Or les épreuves non spatiales sur lesquelles il échoue sont des épreuves nécessitant de bonnes compétences en mémoire de travail (comptage oral à rebours, calcul mental oral, comparaison de 2 nombres présentés oralement et problèmes arithmétiques présentés oralement).

3 autres enfants ont une différence entre les épreuves spatiales et non spatiales mais cette différence n'est pas très révélatrice :

- L'enfant 6 échoue à 1 épreuve non spatiale et 2 épreuves spatiales.
- L'enfant 14 échoue à 2 épreuves non spatiales et aucune épreuve spatiale.
- L'enfant 15 échoue à 2 épreuves non spatiales (calcul mental oral et comparaison de 2 nombres présentés oralement) et 1 épreuve spatiale. Cet enfant présente un TDA/H associé à la dyspraxie.

4 enfants (enfants 5, 9, 12 et 20) ont un profil chuté de façon homogène. Tous ont un trouble associé à la dyspraxie : les enfants 5 et 20 présentent une dyslexie, l'enfant 9 présente une dysphasie et l'enfant 12 présente un TDA/H.

Nous remarquons que lorsqu'un enfant échoue sur une seule épreuve, cette épreuve est du domaine spatial :

- L'enfant 1 et l'enfant 7 échouent à l'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale,
- L'enfant 4 échoue à l'épreuve de dénombrement,
- L'enfant 16 échoue à l'épreuve de comparaison de 2 nombres écrits.

Ces 4 enfants présentent des dyspraxies pures.

Enfin, à partir de 10 ans, nous constatons moins de scores échoués dans les épreuves spatiales.

Epreuves non spatiales		Epreuves spatiales	
Intitulé	Taux d'échecs*	Intitulé	Taux d'échecs*
Comptage oral à rebours	30%	Dénombrement de points	20%
Calcul mental oral	25%	Dictée de nombres	25%
Répétition de chiffres	20%	Lecture de nombres	25%
Comparaison de 2 nombres présentés oralement	15%	Comparaison de 2 nombres écrits	30%
Estimation qualitative de quantités en contexte	5%	Estimation visuelle de quantités	25%
Problèmes arithmétiques présentés oralement	25%	Positionnement de nombres sur une échelle verticale	45%

Figure 20 : tableau de présentation des taux d'échecs* par épreuves au Zareki-R

*taux d'échecs : taux d'enfants se situant dans le 1^{er} décile (performance qui se situe parmi les 10% des sujets les plus faibles de l'étalonnage).

Nous voyons, grâce à ce tableau, que les enfants de notre population sont, d'une façon générale, davantage en échec dans les épreuves spatiales.

Nous pouvons comparer un même type d'épreuves (épreuves de comparaison de 2 nombres) selon 2 modalités différentes : à l'oral ou à l'écrit. Les performances à l'écrit (nécessitant des compétences visuo-spatiales) sont doublement chutées (30%) par rapport aux performances à l'oral (15%). De la même façon, l'estimation visuelle des quantités est beaucoup plus chutée (25%) que l'épreuve d'estimation qualitative de quantités en contexte (5%).

L'épreuve de positionnement de nombres sur une échelle verticale met un grand nombre d'enfants en difficultés (45%).

Parmi les épreuves non spatiales, les taux d'échecs importants en comptage oral à rebours (30%), calcul mental oral (25%) et problèmes arithmétiques présentés oralement (25%) retiennent notre attention.

5.4 Liens entre les résultats à l'UDN2 et les résultats au Zareki-R

En étudiant les résultats obtenus par chacun des enfants au Zareki-R et à l'UDN2, nous avons pu établir certains liens.

Tout d'abord, signalons que nous considérons sous le terme « en difficulté » les enfants qui obtiennent les résultats suivants aux épreuves de l'UDN2 :

- Un résultat de niveau échec ou intermédiaire au-delà de l'âge-clé d'acquisition,
- Un résultat de niveau échec ou intermédiaire alors que l'enfant atteint l'âge-clé d'acquisition,
- Un résultat de niveau échec ou intermédiaire alors que 50% au moins de la population d'étalonnage réussit (nous considérons ces enfants en difficulté car leur nombre est plus important dans notre population que dans la population d'étalonnage).

Pour analyser les résultats obtenus par ces enfants aux épreuves spatiales du Zareki-R nous avons établi 3 groupes :

- Groupe 1 : les enfants échouent à plusieurs épreuves spatiales
- Groupe 2 : les enfants échouent à une épreuve spatiale
- Groupe 3 : les enfants réussissent toutes les épreuves spatiales

Nous avons comparé les performances à l'UDN2 de ces 3 groupes pour tenter d'établir des liens.

Parmi les 7 enfants du groupe 1, aucun ne réussit l'épreuve du choix des baguettes. 2 enfants (enfants 5 et 6) réussissent la sériation, l'un d'eux (enfant 6) bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie. 5 enfants sur 7 sont donc en difficulté dans l'épreuve de sériation.

La répartition en âge de ces enfants est la suivante :

- 2 enfants ont 6 ans
- 1 enfant a 7 ans
- 2 enfants ont 8 ans
- 1 enfant a 9 ans
- 1 enfant a 12 ans

Parmi les 8 enfants du groupe 2, 4 réussissent l'épreuve du choix des baguettes (enfants 7, 15, 16 et 18). Parmi ces 4 enfants, 3 réussissent également l'épreuve de sériation (enfants 7, 15 et 18). L'un d'eux (enfant 15) bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.

La répartition en âge de ces enfants est la suivante :

- 1 enfant a 6 ans
- 1 enfant a 7 ans
- 2 enfants ont 8 ans
- 1 enfant a 9 ans
- 1 enfant a 10 ans
- 2 enfants ont 11 ans

Parmi les 5 enfants du groupe 3, 4 enfants (enfants 10, 14, 17 et 19) réussissent la sériation et l'un d'eux réussit également le choix des baguettes.

1 enfant (enfant 11) est en difficulté dans les 2 épreuves de l'UDN2, rappelons pourtant qu'il n'est en échec sur aucune épreuve spatiale. On peut supposer que le matériel proposé au Zareki-R lui permet de s'appuyer sur le verbal pour compenser ses difficultés perceptives.

La répartition en âge de ces enfants est la suivante :

- 1 enfant a 8 ans
- 1 enfant a 9 ans
- 1 enfant a 10 ans
- 2 enfants ont 11 ans

Nous constatons donc un lien entre de bonnes compétences aux épreuves du choix des baguettes et/ou de sériation de l'UDN2 et des résultats corrects (jusqu'à 1 échec) aux

épreuves spatiales du Zareki-R. Nous observons également une évolution des compétences en fonction de l'âge de ces enfants qui semblent développer progressivement de meilleures compétences dans le traitement des données visuo-spatiales.

Pour analyser les résultats obtenus aux épreuves non spatiales du Zareki-R, nous avons constitué 2 groupes :

- Groupe 1 : les enfants échouent à au moins une épreuve non spatiale
- Groupe 2 : les enfants réussissent toutes les épreuves non spatiales

Nous avons comparé les performances à l'UDN2 de ces 2 groupes pour tenter d'établir des liens.

Chez les 10 enfants du groupe 1, nous remarquons que :

- 1 enfant (enfant 5) n'a aucune performance révélatrice de retard à l'UDN2. Il échoue cependant à 3 épreuves non spatiales du Zareki-R (comptage oral à rebours, calcul mental et répétition de chiffres). Ces épreuves nécessitent de bonnes compétences en mémoire de travail auditivo-verbale, or cet enfant présente une dyslexie associée à la dyspraxie.
- 9 enfants sur 10 sont en difficulté à l'épreuve de conservation de la substance ou du poids.
Parmi eux, 4 sont également en difficulté à l'épreuve de conservation des longueurs.
Les enfants qui échouent majoritairement aux épreuves non spatiales (enfants 5, 8, 9, 12 et 20) présentent des troubles associés à la dyspraxie (dyslexie pour les enfants 5 et 20, TDA/H pour les enfants 8 et 12 et dysphasie pour l'enfant 9).

Chez les 10 enfants du groupe 2, nous observons que :

- 4 enfants sur 10 seulement sont en difficulté dans les épreuves de conservation du poids et de la substance.
Parmi eux, 2 enfants échouent également à l'épreuve de conservation des longueurs (ce sont les seuls dans ce groupe).
- 5 enfants sont en difficulté en classification, 6 en sériation et tous les niveaux sont observés en inclusion ; ils n'échouent pourtant à aucune des épreuves non spatiales du Zareki-R.

Nous pouvons donc établir un lien entre des difficultés aux épreuves de conservation du poids, de la substance et des longueurs de l'UDN2 et des difficultés aux épreuves non spatiales du Zareki-R. Il ne semble pas possible de mettre en rapport les épreuves de classification, de sériation et d'inclusion avec les épreuves de manipulation du nombre.

5.5 Informations collectées dans le questionnaire d'anamnèse

Pour l'ensemble des histogrammes, l'unité retenue en ordonnée est le nombre de patients.

Nous avons demandé :

- Si l'enfant était passé par la marche à 4 pattes,
- S'il avait joué à des jeux de construction,
- S'il éprouve aujourd'hui des difficultés en mathématiques
- Et s'il bénéficie d'une prise en charge concernant le développement du raisonnement logico-mathématique.

Voici les réponses :

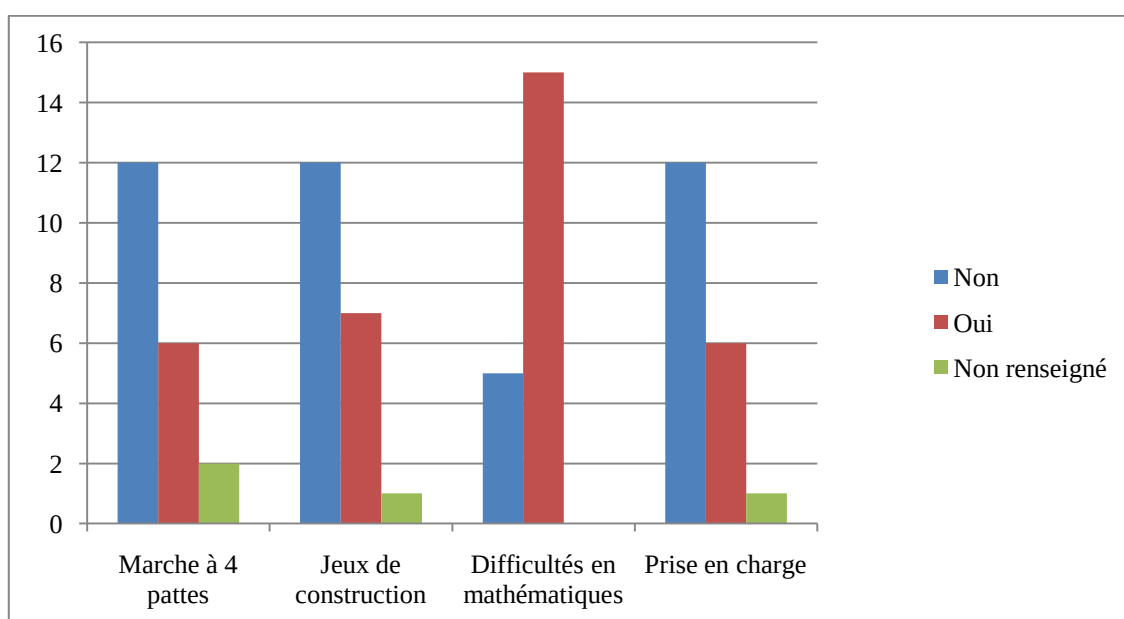


Figure 21 : graphique de présentation des réponses concernant le développement de l'enfant

Nous observons plusieurs liens :

- Parmi les 12 enfants qui ne sont pas passés par la marche à 4 pattes, 8 n'ont pas non plus joué avec des jeux de construction.
- Parmi les 12 enfants qui ne sont pas passés par la marche à 4 pattes, les parents de 8 enfants décrivent des difficultés en mathématiques.

- Parmi les 8 enfants qui ne sont ni passés par la marche à 4 pattes ni par les jeux de construction, les parents de 5 enfants évoquent des difficultés en mathématiques.
- Parmi les 6 enfants qui bénéficient d'une prise en charge logico-mathématique, 4 ne sont ni passés par la marche à 4 pattes ni par les jeux de construction.

Les difficultés en mathématiques évoquées par les parents se répartiraient de la façon suivante :

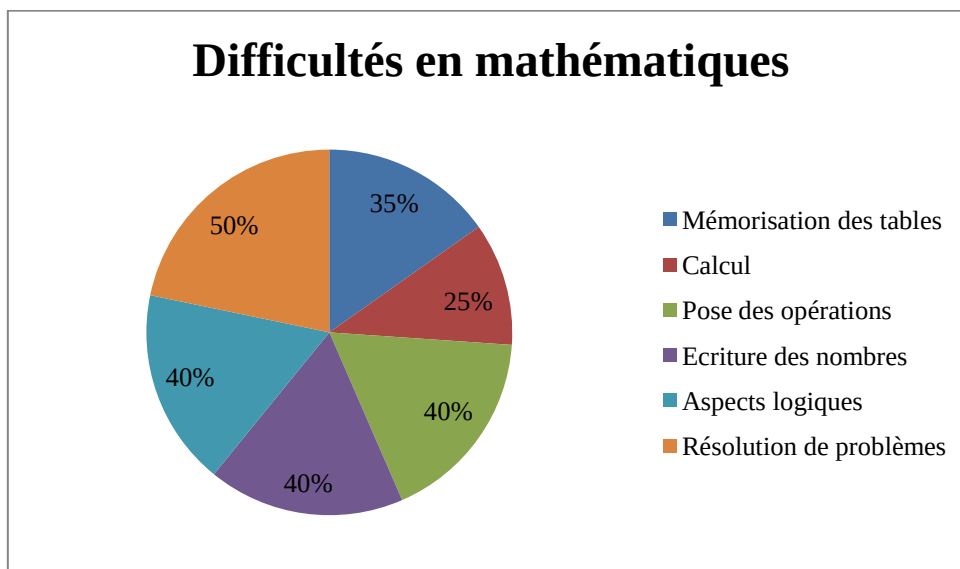


Figure 22 : graphique de présentation des réponses concernant les difficultés en mathématiques

Une proportion importante (40%) décrit des difficultés avec les aspects spatiaux en mathématiques (pose des opérations et écriture des nombres), mais on retrouve également des difficultés dans la résolution de problèmes (50%), des troubles logiques (40%), des problèmes de mémorisation des tables (35%) et de calcul (25%).

D'autres difficultés scolaires sont évoquées par les parents :

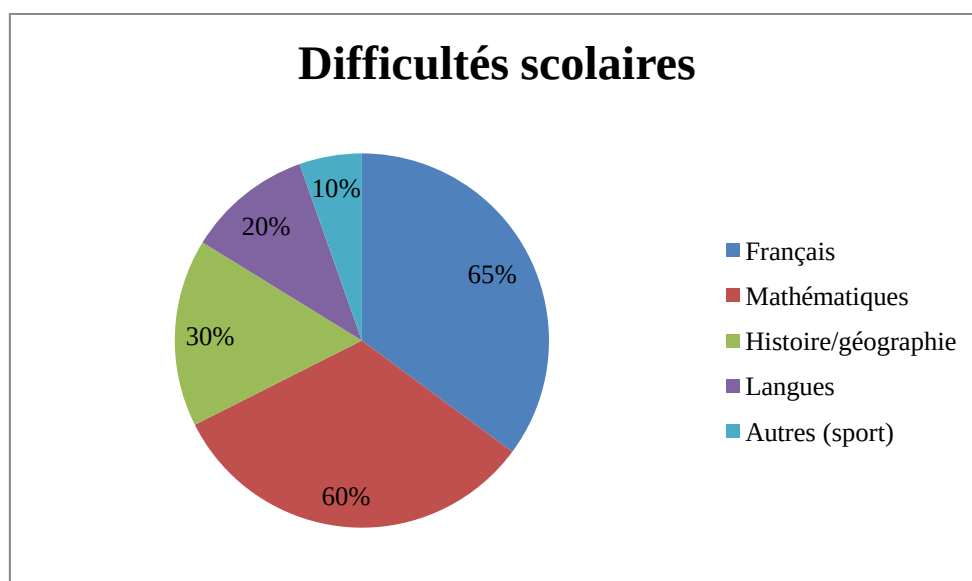


Figure 23 : graphique de présentation des réponses concernant les difficultés scolaires

Nous observons une proportion importante de difficultés en mathématiques (60%) mais nous sommes interpellés par la proportion considérable de difficultés en français (65%).

Pour élaborer des pistes de réflexion concernant les troubles observés dans le développement du raisonnement logico-mathématique, nous avons interrogé les parents sur la manipulation des objets :

- L'enfant essayait-il de prendre les objets à sa portée ?
- Quelle était la qualité de sa préhension ?

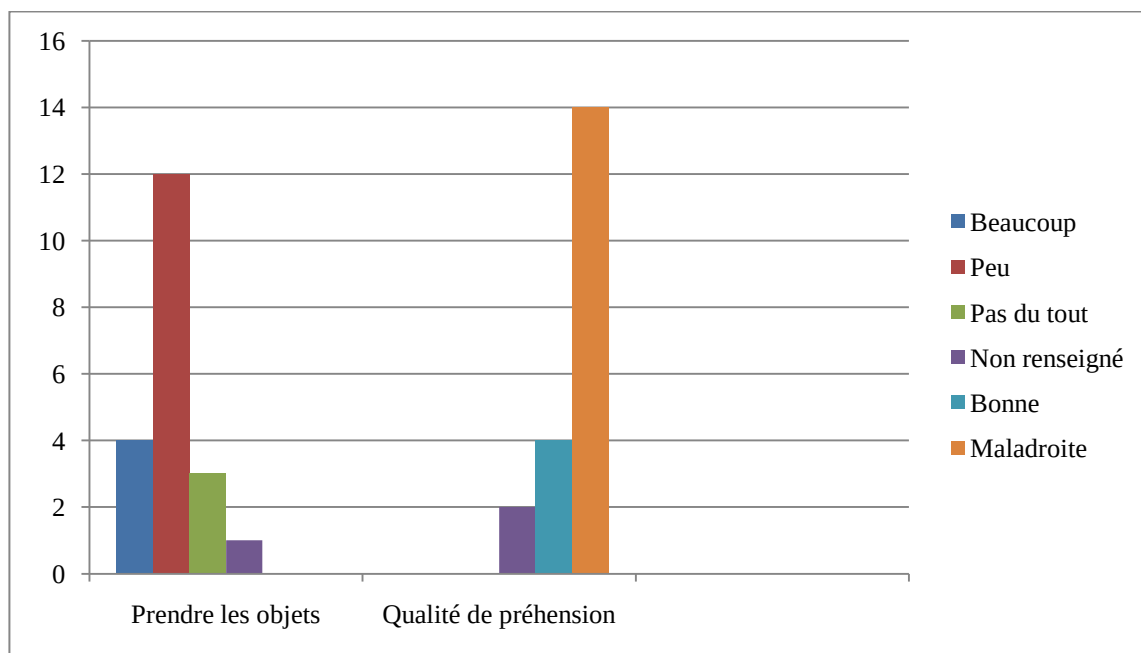


Figure 24 : graphique de présentation des réponses concernant la manipulation des objets

Généralement, ces enfants ont peu tenté de prendre les objets à leur portée (12 enfants sur 20) et leur manipulation était maladroite (14 enfants sur 20).

Ensuite nous avons demandé aux parents des adjectifs qualifiant le comportement de leur enfant vis-à-vis de leur environnement matériel. Nous obtenons cette répartition :

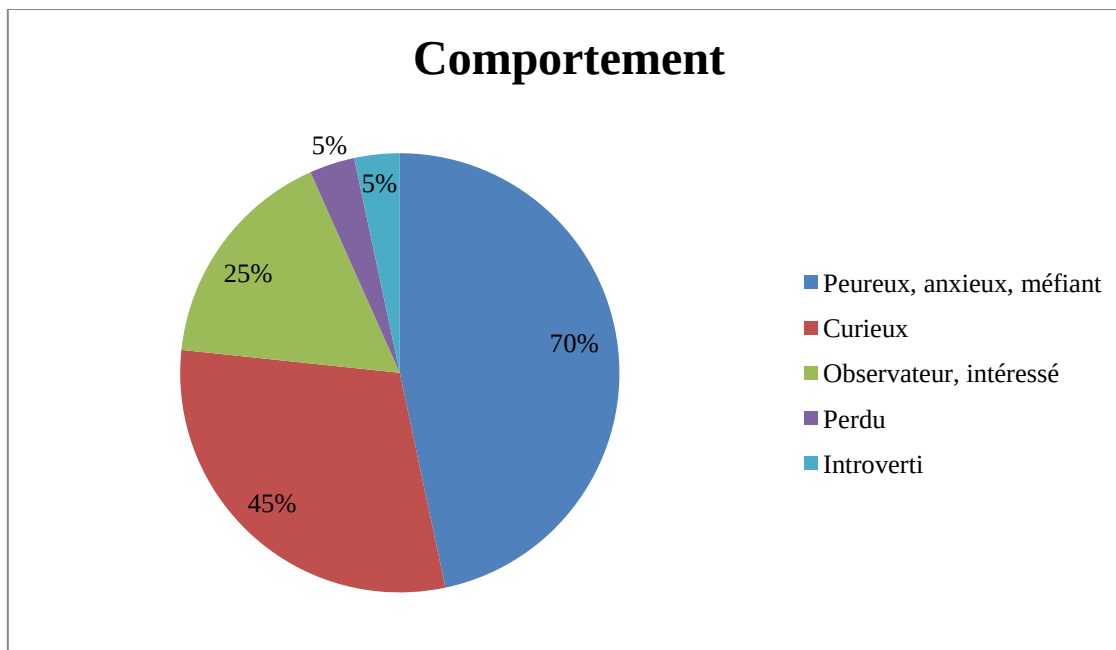


Figure 25 : graphique de présentation des réponses concernant le comportement vis-à-vis de l'environnement matériel

Nous constatons que la majorité des enfants a eu beaucoup d'appréhension vis-à-vis de son environnement matériel (70%) mais 45% ont, malgré tout, développé une certaine curiosité.

Nous avons également interrogé les parents sur le repérage temporel de l'enfant. A la question « Avez-vous l'impression que votre enfant est perdu dans le temps ? », les parents ont répondu :

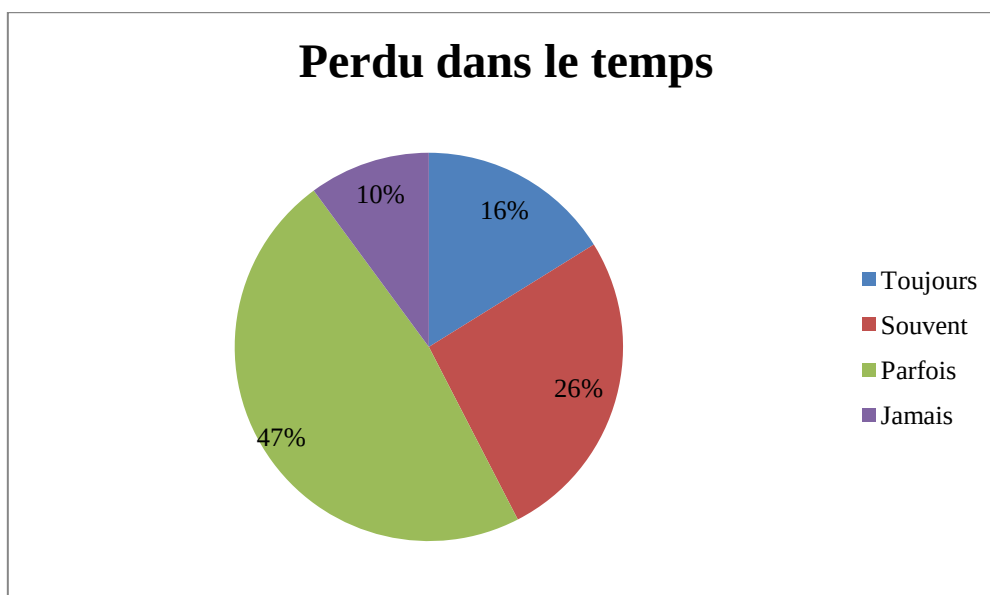


Figure 26 : graphique de présentation des réponses concernant le repérage temporel

Nous constatons des difficultés de repérage temporel chez ces enfants, seuls 10% ne semblent jamais perdus dans le temps.

Enfin, nous avons interrogé les parents sur les capacités attentionnelles de l'enfant. Nous avons demandé :

- S'il fait souvent des fautes d'étourderie ou des oublis,
- S'il a du mal à se concentrer et/ou à rester concentré.

Les réponses sont les suivantes :

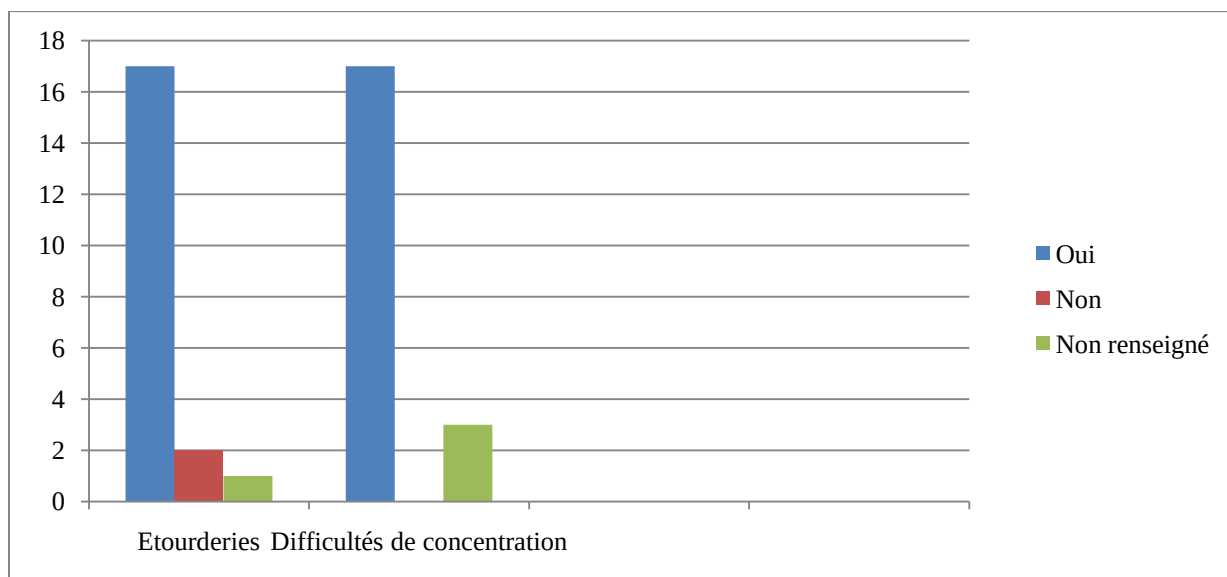


Figure 27 : graphique de présentation des réponses concernant les capacités attentionnelles

Les difficultés attentionnelles sont quasi constantes. En effet, nous retrouvons des difficultés de concentration chez tous les enfants et 17 enfants sur 19 font souvent des fautes d'étourderie.

Partie 6 : Discussion

6.1 Rappel des objectifs

Nous cherchons à analyser le développement du raisonnement logique au stade des opérations concrètes chez des enfants présentant une dyspraxie développementale. Selon nous, du fait de leurs difficultés dans les manipulations ainsi que dans le repérage spatial et temporel, nous devrions retrouver un trouble du développement du raisonnement logique, entraînant des difficultés de maniement du nombre dans son versant logique.

6.2 Discussion des résultats

6.2.1 Epreuves de conservation

Notre hypothèse de départ se vérifie. En effet, nous observons un retard d'acquisition des conservations :

- des longueurs (42.85%)
- du poids (45.45%)

De plus, nous observons que lorsqu'au moins 50% des enfants de la population d'étalonnage réussit une épreuve, ce taux est très inférieur dans notre population :

- 33.33% de réussite à 6 ans en conservation des quantités discontinues,
- 0% de réussite à 9 ans en conservation des longueurs,
- 16.66% de réussite entre 7 et 9 ans en conservation de la substance,
- 25% de réussite entre 7 et 10 ans en conservation du poids.

Nous retrouvons un trouble d'acquisition des conservations, comme Meljac et Lemmel (2007) l'avaient décrit. Cependant, De Ajuriaguerra (1964) parle d'un échec massif, ce qui n'est pas ici le cas.

Pour Meljac et Lemmel (1999), le déplacement des baguettes constituant un leurre perceptif important, l'épreuve de conservation des longueurs est très difficile pour les enfants dyspraxiques et pour les enfants IMC, y compris pour ceux bénéficiant d'un bon niveau de langage. Nous avons vu que le support verbal semble aider 2 enfants à se dégager du leurre perceptif : ils ont eu besoin de l'aide de départ puis ont été conservants lors de chaque transformation. Notons que l'un d'eux bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.

Selon Meljac et Lemmel (1999) la conservation du poids fait appel à « une sensation physique faisant partie du répertoire des expériences quotidiennes de l'enfant » (page 18). Face aux difficultés de manipulation décrites par les parents dans le questionnaire anamnestique (12 enfants sont décrits comme manipulant peu et pour 14 enfants la manipulation est maladroite) nous pensons que cela constitue un élément intéressant de réflexion devant le taux d'échec important à cette épreuve (45.45%). Parmi les 5 enfants en retard sur l'acquisition de la conservation du poids, 3 sont effectivement décrits comme ayant peu manipulé les objets et comme ayant eu une manipulation maladroite.

D'un point de vue qualitatif, nous avons observé :

- 2 enfants éprouvent beaucoup de difficultés à affirmer l'égalité des 2 boules de pâte à modeler au début de l'épreuve, ils ont besoin de toucher et comparent longuement. La seule perception visuelle ne leur suffit pas.
- 5 enfants modifient leur stratégie de raisonnement en cours d'épreuve : 2 enfants font des réponses instables lors des transformations mais conservent devant la contre-suggestion, les 3 autres conservent sur la dernière transformation et la contre-suggestion.

Il semble que ces enfants tentent de se dégager du leurre perceptif, ils peuvent affirmer la conservation lorsqu'on présente la contre-suggestion, constituant un support verbal sur lequel ils peuvent s'appuyer. L'un de ces enfants bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie et c'est ce même enfant qui est parvenu à se dégager du leurre perceptif après l'aide verbale à l'épreuve de conservation des longueurs.

Durant l'épreuve de conservation de la substance, ces enfants semblent avoir des difficultés soit à affirmer ce qu'ils perçoivent visuellement, soit à se dégager du leurre perceptif :

- 2 enfants ont eu des difficultés à affirmer l'égalité des 2 boules de pâte à modeler au début de l'épreuve, ils n'ont ensuite pas accédé à la conservation.
- 3 enfants sont parvenus à se dégager du leurre perceptif : 2 dès la deuxième transformation et 1 lors de la contre-suggestion. Ce dernier s'est alors appuyé sur un raisonnement verbal ; il bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.

Durant l'épreuve de conservation des quantités discontinues, nous avons noté que près de la moitié des enfants (8/17 enfants) se sont appuyés sur le comptage des collections. Ce comportement chez les enfants souffrant de troubles moteurs évoque la mise en place d'une stratégie compensatoire (Meljac et Lemmel, 1999). L'enfant, en général, manipule le nombre avant de manipuler son environnement matériel (Lussier et Flessas, 2009). Il est donc possible que l'enfant dyspraxique déploie spontanément cette stratégie, comme l'a observé Mazeau (2005) chez l'enfant IMC.

L'épreuve de dissociation poids/volume a été proposée à 2 enfants seulement. Dans cette épreuve, il nous semble important de souligner qu'un enfant n'a pas pu s'ajuster aux données de l'expérience ; au contraire, cet enfant a « perçu » visuellement ce qu'il pensait juste : le niveau d'eau monte davantage du côté où l'on plonge le cylindre le plus lourd. Meljac et Lemmel (1999) soulignent que les prévisions fantaisistes sont fréquentes chez les enfants dyspraxiques et montrent « une incompréhension des lois du monde physique » (page 143).

Ces observations aux épreuves de conservation rappellent celles de Meljac et Lemmel (2007) : les enfants dyspraxiques parviennent à un début de conceptualisation mais « s'effondrent très vite devant le leurre perceptif » (page 193). Nous avons vu que la présentation du matériel peut entraîner une instabilité de jugement chez certains enfants. Quand Mazeau (2005) écrit que les enfants IMC dyspraxiques sont préservés du leurre perceptif, nous voyons que dans la dyspraxie développementale, s'en dégager est effectivement possible pour certains mais cela semble le résultat d'un véritable effort. Nous relevons que la prise en charge logico-mathématique semble aider certains enfants à s'appuyer sur le raisonnement verbal.

6.2.2 Epreuves de logique élémentaire

Notre hypothèse se vérifie également aux épreuves de logique élémentaire avec des retards pour :

- 47.05% des enfants en sériation,
- 66.66% des enfants en classification de 9 cartes et 80% des enfants en classification de 27 cartes.

Aucun retard n'est observé en inclusion, l'âge-clé d'acquisition se situant au-delà de 11 ans.

De plus, nous observons que lorsqu'au moins 50% des enfants de l'étalonnage réussissent, dans notre population ce taux est :

- Très inférieur en sériation (0%)
- Sensiblement identique aux épreuves de classification (55.55%) et d'inclusion (42.85%).

De la même façon, lorsque le taux d'échec est inférieur à 10% pour la population d'étalonnage, dans notre population ce taux est :

- Très supérieur en sériation (33.33%)
- Très inférieur en classification (0%)
- Et sensiblement identique en inclusion (14.28%).

La différence avec la population d'étalonnage est donc nette en sériation ; on retrouve l'échec décrit par Mazeau (2005) et Meljac et Lemmel (2007). Ces retards peuvent être très importants, 5 enfants ont un retard d'au-moins 2 ans et on observe jusqu'à 5 ans de retard. Toutefois, à partir de 10 ans, 5 enfants sur 7 réussissent spontanément la sériation. Cela témoigne donc d'une compensation des difficultés. Si l'âge-clé d'acquisition est de 7 ans dans la population d'étalonnage, il semblerait que la sériation soit réussie plus tardivement chez les enfants dyspraxiques qui développent des stratégies compensatoires face aux difficultés rencontrées. Parmi les 4 enfants qui réussissent la sériation avant 10 ans, 1 bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique.

D'un point de vue qualitatif, nous observons que :

- 13 enfants sur 20 tentent spontanément une sériation. Parmi eux :
 - 9 réalisent une sériation correcte, 2 d'entre eux bénéficient d'une prise en charge logico-mathématique.
 - 4 ne réalisent pas de sériation correcte. Parmi eux, 1 seul profite de la démonstration, il est âgé de 9 ans.
- 7 enfants ne réalisent pas de sériation spontanée et après démonstration :
 - 5 persévèrent sur l'échec, 3 d'entre eux bénéficient d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie.
 - 2 tirent profit de la démonstration, l'un d'eux bénéficie d'une prise en charge logico-mathématique en orthophonie. Ils sont respectivement âgés de 7 et 11 ans.

Nous rapprochons cette épreuve de l'épreuve facultative du choix des 2 baguettes identiques précédant l'épreuve de conservation des longueurs. A cette épreuve nous observons que :

- 5 enfants seulement ont pu mettre en place une stratégie efficace. Parmi eux, 4 réussissent d'emblée l'épreuve de sériation.
Parmi ces 5 enfants, 3 sont âgés d'au moins 10 ans.
- Parmi les 15 enfants qui échouent, seuls 5 réussissent après démonstration de l'examineur. Sur ces 5 enfants, 4 enfants sont âgés d'au moins 9 ans.

Nous observons donc un lien entre les enfants qui peuvent d'emblée réussir une sériation et ceux qui peuvent mettre en place une stratégie efficace pour isoler 2 baguettes identiques parmi 10 baguettes. Nous voyons qu'il est difficile pour les autres de bénéficier d'une démonstration de l'adulte lorsque celle-ci repose sur le traitement de données spatiales. Cela rejoint leur difficulté à apprendre un enchainement de schèmes. Mais nous remarquons toutefois une évolution en fonction de l'âge.

Percevoir les différences de tailles durant l'épreuve de classification fut également difficile pour certains : 9 enfants sur 17 ont eu besoin d'aide pour isoler ce critère, parmi eux 3 n'y sont pas parvenu.

D'une façon générale, nous remarquons que la plupart des enfants est en difficulté dans le classement des 3 tailles.

Mazeau (2005) écrit que les classifications peuvent être réussies si elles ne comprennent pas de données visuo-spatiales. Nous voyons effectivement que les enfants ont eu davantage de difficultés avec le critère taille qu'avec les critères forme et couleur. Contrairement à De Ajuriaguerra (1964) qui observait une réussite parfaite à la classification, nous observons un retard d'acquisition important: 66.66% pour 9 cartes et 80% pour 27 cartes. Cependant, nous devons noter que 35% des enfants acquièrent la classification avec une avance parfois importante sur l'âge-clé (variant de 1 à 4 ans).

L'épreuve d'inclusion, n'est pas réussie par 75% des enfants. Cela ne constitue pas un retard manifeste car l'âge d'acquisition se situe au-delà de 11 ans. Selon Meljac et Lemmel (2007) cette épreuve n'est possible pour les enfants dyspraxiques que s'ils ne voient pas le matériel. Nous n'avons pas proposé cette méthode. Dans notre population, les résultats obtenus ne témoignent pas d'une réelle progression vers la réussite en fonction de l'évolution de l'âge des enfants. Cependant, notre population n'est pas suffisante pour affiner ces observations.

Dans ce test qui s'appuie sur la théorie de la zone proximale de développement de Vygotsky (Meljac et Lemmel, 1999), les démonstrations réalisées à partir de la manipulation de matériel ont été souvent impossibles à reproduire par les enfants dyspraxiques. Par contre, un accompagnement verbal semble plus bénéfique.

6.2.3 Epreuves de manipulation et de compréhension du nombre

Au Zareki-R, nous avons retrouvé des difficultés dans le traitement des données spatiales du nombre, difficultés sur lesquelles s'accordent tous les auteurs qui se sont intéressés à la dyspraxie qu'elle soit lésionnelle ou développementale. Cette dissociation est nette lorsqu'on compare, par exemple, l'épreuve de comparaison de nombres en modalité orale (15% d'échecs) et en modalité écrite (30% d'échecs) ou lorsqu'on compare l'estimation qualitative de quantités en contexte (5%) et l'estimation visuelle de quantités (25%).

En observant chacun des profils nous constatons que les 2 enfants qui échouent de façon importante sur les épreuves spatiales ont 6 ans. Nous observons également une baisse des scores situés dans le premier décile aux épreuves spatiales à partir de 10 ans. Ces résultats

révèlent une compensation progressive des difficultés dans le traitement des données spatiales.

Nous observons un échec important dans les épreuves non spatiales de comptage oral à rebours (30%), calcul mental oral (25%) et problèmes arithmétiques présentés oralement (25%). Ces 3 épreuves requièrent une bonne capacité de mémoire de travail, des compétences en calcul, la connaissance des tables (addition et multiplication) et une compréhension suffisante des énoncés. Or la plupart des enfants en difficulté dans ces épreuves présente des troubles associés à la dyspraxie : 5 ont un TDA/H et 1 une suspicion de TDA/H, 3 sont dyslexiques et 2 sont dysphasiques. Or, il est admis que :

- Le TDA/H entraîne un déficit de la mémoire dû à un défaut d'encodage, les enfants rencontrent donc des difficultés importantes dans les apprentissages scolaires (Lussier et Flessas, 2009).
- Les enfants dyslexiques souffrent d'un déficit de la mémoire de travail auditivo-verbale. Cette capacité est évaluée par les épreuves de répétition de chiffres à rebours (Lussier et Flessas, 2009).
- Les enfants dysphasiques rencontrent des difficultés en mathématiques du fait d'un déficit de la mémoire de travail verbale, d'une difficulté de compréhension des termes spécifiques et des énoncés de problèmes (Lussier et Flessas, 2009).

Il est donc impossible d'affirmer que ces échecs importants relèvent essentiellement de la dyspraxie.

6.2.4 Liens entre les résultats aux épreuves de l'UDN2 et du Zareki-R

Nous avons observé un lien entre les épreuves spatiales du Zareki-R et deux épreuves de l'UDN2 : sériation et choix de deux baguettes. En effet, la plupart des enfants qui réussissent une des deux épreuves de l'UDN2 ont de meilleurs résultats aux épreuves spatiales du Zareki-R. Ces épreuves nécessitant de bonnes compétences visuo-spatiales, ces résultats paraissent pertinents. On remarque que les enfants qui réussissent ces épreuves sont les plus âgés : ils parviennent donc à dépasser progressivement le leurre perceptif, vers 9/10 ans généralement.

Seules les difficultés en conservation du poids, de la substance et des longueurs semblent être liées aux difficultés dans les épreuves non spatiales du Zareki-R.

Les épreuves de conservation évaluent la capacité de l'enfant à mettre en place des invariants. Un retard d'acquisition des conservations risque donc d'entraîner des troubles importants dans l'acquisition du raisonnement mathématique (Meljac et Lemmel, 1999). Ceci pourrait expliquer le lien entre des difficultés dans les épreuves de conservation et des difficultés dans les épreuves du Zareki-R. Le retard d'acquisition des conservations que nous avons observé dans notre population d'enfants dyspraxiques, semble donc avoir un retentissement dans les épreuves de manipulation et de compréhension du nombre. Toutefois, la présence de troubles associés pour certains enfants de notre population constitue une limite : les enfants les plus en difficulté dans les épreuves non spatiales présentent des troubles associés (TDA/H, dysphasie ou dyslexie).

Nous n'avons pu établir de lien entre les épreuves de logique élémentaire (classification, sériation, inclusion) et les épreuves de manipulation du nombre. Rappelons que selon les auteurs qui ont critiqué la thèse de Piaget, l'acquisition et la compréhension du nombre ne repose pas uniquement sur l'accès aux principes de logique élémentaire (classification, sériation et inclusion).

6.3 Biais et limites de l'étude

Tout d'abord, étant donné la limitation du nombre de sujets concernés par notre étude (20 sujets), les résultats en pourcentages sont à prendre avec précaution.

Concernant le recrutement de notre population, 6 enfants ont bénéficié d'une prise en charge logico-mathématique (5 en orthophonie et 1 avec un rééducateur en mathématiques). Ce n'est pas un réel biais à l'étude car nous avons ainsi pu en observer les bienfaits pour certains qui parviennent à se dégager du leurre perceptif. Mais tous les enfants rééduqués n'y parviennent pas.

11 enfants présentent des troubles associés à la dyspraxie (5 TDA/H et 1 une suspicion de TDA/H, 3 dyslexiques et 2 dysphasiques) qui semblent avoir eu des répercussions sur les résultats aux épreuves non spatiales du Zareki-R.

Concernant les tests utilisés, les épreuves de l'UDN2 sont inspirées des épreuves de Piaget qui sont couramment employées par les orthophonistes pour évaluer les enfants en mathématiques. Nous avons observé un effet re-test pour un enfant qui semblait bien connaître les épreuves au point d'anticiper certaines consignes.

Pour des raisons pratiques, les épreuves de conservation du poids et de la substance ont été réalisées avec une pâte à modeler particulière (*Pâte à rêve*) qui est plus légère que la pâte à modeler classique. Il est possible que cela ait eu une influence sur les résultats, notamment pour la conservation du poids.

Le Zareki-R est étalonné jusqu'à 11 ans 6 mois et l'UDN2 jusqu'à 11 ans 11 mois. Un enfant dépasse cette limite d'âge (12 ans 3 mois). Cependant, en appliquant les cotations pour les enfants de 11 ans, il ne sature aucune épreuve.

Concernant la cotation du Zareki-R, nous avons seulement considéré les résultats du 1^{er} décile. En effet, la conversion en écarts-types a donné lieu à quelques aberrations (par exemple, des résultats situés à -16 écarts-types pour un enfant qui ne se situait pourtant pas dans le 1^{er} décile, inversement nous pouvions trouver des enfants dans le 1^{er} décile avec un résultat à -1.3 écart-type) ; cela compliquait l'analyse des résultats.

6.4 Perspectives

Le questionnaire d'anamnèse proposé aux parents (cf. annexes page 158) contient des éléments certes subjectifs mais qui engagent une réflexion concernant les troubles observés chez ces enfants. Nous avons vu qu'un lien existe entre le passage par la marche à 4 pattes, les jeux de construction et les difficultés évoquées par les parents en mathématiques. Ces difficultés ont, par la suite, été objectivées dans les épreuves de l'UDN2. Rappelons également que, parmi les 6 enfants bénéficiant d'une prise en charge logico-mathématique, 4 ne sont ni passés par la marche à 4 pattes, ni par les jeux de construction. Or la marche à 4 pattes aurait une influence sur le développement de la cognition spatiale en permettant une meilleure utilisation des repères externes (Barbu-Roth, 2002). Le manque de manipulations et la mauvaise qualité de préhension décrits par les parents retiennent également notre attention.

Concernant les apprentissages, nous avons été étonnés par le nombre important d'enfants dont les parents évoquent des difficultés en français (13 enfants sur 20). Nous pouvons nous questionner sur la nature de ces difficultés. De même, nous notons que 10 enfants étaient inintelligibles à l'entrée en maternelle et 11 ont bénéficié d'une prise en charge orthophonique. Nous pouvons nous interroger sur la nature de ces difficultés langagières et nous demander si elles sont seulement liées aux troubles praxiques.

Ces enfants parvenant à se dégager du leurre perceptif en s'appuyant sur le verbal, il aurait été intéressant d'évaluer le niveau des compétences verbales de chacun afin d'observer un lien entre le niveau verbal et une meilleure réussite aux épreuves. Alors, comme De Ajuriaguerra (1964), nous aurions pu proposer des épreuves verbales de sériation, afin de voir si nous retrouvions, nous aussi, de bonnes compétences dans notre population présentant une dyspraxie développementale.

Nous pensons également qu'il serait intéressant de proposer ces épreuves à un nombre plus important d'enfants, répartis équitablement dans chaque tranche d'âge, afin de mieux observer les stratégies employées dans chaque tranche d'âge et de mettre en évidence les éventuelles stratégies de compensation. Parmi ces enfants nous pourrions également observer les procédures mises en place par les enfants rééduqués en considérant les durées de prise en charge.

Conclusion :

Après lecture des différentes théories sur le développement du raisonnement logique chez les enfants dyspraxiques, nous avons émis l'hypothèse de l'existence d'un trouble du développement du raisonnement logique au stade des opérations concrètes chez des enfants présentant une dyspraxie développementale. Nous avons également supposé que ces perturbations entraînent des difficultés de manipulation du nombre dans son aspect logique.

Nous avons donc proposé à 20 enfants dyspraxiques, âgés de 6 à 12 ans, des épreuves évaluant les conservations, la logique élémentaire et la manipulation du nombre. Nous avons également soumis aux parents un questionnaire anamnestique afin de recueillir des particularités dans le développement permettant d'élaborer des pistes de réflexion concernant l'origine des troubles logico-mathématiques.

Nous retrouvons effectivement des difficultés au stade des opérations concrètes avec des retards importants en conservation des longueurs (42.85%), conservation du poids (45.45%), sériation (47.05%) et classification (66.66% et 80%). Nous avons remarqué également que lorsque le taux de réussite dans la population d'étalonnage est d'au moins 50%, ce taux est inférieur dans notre population en conservation des quantités discontinues (33.33%), conservation des longueurs (0%), conservation de la substance (16.66%), conservation du poids (25%) et sériation (0%). Tous ces chiffres sont cependant à relativiser compte-tenu de la faiblesse de notre effectif.

Nous remarquons toutefois des tentatives de compensation utilisant le nombre (épreuve de conservation des quantités discontinues) ou le raisonnement verbal (conservations). Ces tentatives sont fluctuantes et difficiles. En effet, l'instabilité des stratégies au cours des épreuves de conservation témoigne de la difficulté à se dégager du leurre perceptif. Les résultats à l'épreuve de sériation révèlent une compensation des difficultés vers 9/10 ans, compensation que l'on retrouve dans les épreuves de maniement du nombre nécessitant un traitement spatial.

Dans ces tentatives de compensation, l'étayage de l'adulte est très important. Nous avons constaté que ces enfants tirent profit d'un accompagnement verbal, leur permettant de

se dégager du leurre perceptif. Cela semble important à prendre en compte afin de mieux les accompagner dans la construction de leur raisonnement logique.

L'hypothèse selon laquelle les difficultés rencontrées par les enfants dyspraxiques au stade des opérations concrètes entraînent un trouble d'acquisition et de compréhension du nombre n'a pu être objectivée. En effet, malgré les difficultés importantes dans les épreuves de comptage oral à rebours (30% d'échec), calcul mental oral (25% d'échec) et résolution de problèmes à l'oral (25% d'échec), il est impossible de conclure à un trouble d'acquisition du nombre en raison des troubles associés chez un grand nombre d'enfants de notre population. Néanmoins, les difficultés rencontrées dans les épreuves non spatiales de manipulation et de compréhension du nombre semblent liées aux épreuves de conservation, et non aux épreuves de logique élémentaire.

Enfin, le questionnaire anamnestique a permis de mettre en évidence certaines particularités de développement qui sont des pistes de réflexion concernant la singularité du développement du raisonnement logique chez ces enfants dyspraxiques.

L'intérêt de cette étude a été de mettre en évidence une particularité de fonctionnement chez ces enfants dans le développement du raisonnement logico-mathématique, ne se résumant pas à un échec en sériation, tel qu'il peut être décrit parfois dans la littérature.

Il serait maintenant intéressant de soumettre ces enfants à des épreuves de logique sur un mode verbal afin de relever une éventuelle dissociation. Nous pourrions également proposer ces épreuves à un nombre plus important d'enfants, équitablement répartis dans chaque tranche d'âge jusqu'au stade des opérations formelles (16 ans) afin d'objectiver la mise en place de stratégies compensatoires et d'en définir plus précisément la chronologie.

Bibliographie

- 1 - Alexis, C., Ducrot, S., Lété, B. (2006). « La perception du mot écrit chez l'enfant dyspraxique » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 207-213).
- 2 - Assali-Dalens, H. (2006). « Lecture et dyspraxie » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 201-206).
- 3 - Baillargeon, R. (2000). « La connaissance du monde physique par le bébé. Héritages piagétien » in *L'esprit piagétien, hommage international à Jean Piaget* (pages 55-87). Paris : Presses universitaires de France.
- 4 - Barbu-Roth, M. (2002). « Le développement des codages spatiaux dans la première année » in *Les objectifs cognitifs de la prime enfance* (pages 158-184). Paris : Lavoisier Hermès-Science.
- 5 - Bideaud, J., Lehalle, H., Vilette, B. (2004). *La conquête du nombre et ses chemins chez l'enfant*. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion.
- 6 - Sous la dir. de Bideaud, J., Lehalle, H. (2002). *Le développement des activités numériques chez l'enfant*. Paris : Lavoisier.
- 7 - Bideaud, J., Houdé, O., Pedinielli, J.-L. (1993). *L'homme en développement*. Paris : Presses Universitaires de France.
- 8 - Brissiaud, R. (1993). *Comment les enfants apprennent à calculer*. Paris : Retz.
- 9 - Bruner, J. (1983). *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*. Paris : Presses universitaires de France.
- 10 - Camos, V., Fayol, M., Lacert, Ph., Bardi, A., Laquière, C. (1998). « Le dénombrement chez des enfants dysphasiques et des enfants dyspraxiques » in *A.N.A.E.* (n°48, vol.10, pages 86-91).
- 11 - Chalon-Blanc, A. (2005). *Inventer, compter, classer : de Piaget aux débats actuels*. Paris : Masson.
- 12 - Crahay, M. (1999). *Psychologie de l'éducation*. Paris : Presses universitaires de France.
- 13 - Crouail, A. (2008). *Rééduquer dyscalculie et dyspraxie*. Paris : Masson.

- 14 - De Ajuriaguerra, J., Bergès, J., Stamback, M., L'Hériteau, D., Auzias, M. (1964). « Les dyspraxies chez l'enfant » in *La psychiatrie de l'enfant*, 7/2, (pages 331-496).
- 15 - De Barbot, F. (2005). « La construction du nombre chez un groupe d'enfants IMC : étude longitudinale » in *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pages 290-297). Paris : Masson.
- 16 - Dehaene, S., Molko, N., Wilson, A. (2004). « Dyscalculie, le sens perdu des nombres » in *La Recherche* (n°379, pages 42-47).
- 17 - Dehaene, S. (1997). *La bosse de maths*. Paris : Odile Jacob.
- 18 - Duquesne-Belfais, F. (2006). « Les difficultés en arithmétique des enfants dyspraxiques » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 184-190).
- 19 - Fayol, M., Fluss, J., Sacchet, J., Siclier, J., Mirassou, A., Billard, C. (2009). « Associations et dissociations en lecture et mathématiques » in *A.N.A.E.* (n°102, vol.21, pages 145-151).
- 20 - Fayol, M., Perros, H., Seron, X. (2004). « Les représentations numériques : caractéristiques, troubles et développement » in *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge* (pages 69-99). Marseille : Solal.
- 21 - Fayol, M. (1990). *L'enfant et le nombre : du comptage à la résolution de problèmes*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- 22 - Fischer, J.-P. [1] (2009). « 6 questions ou propositions pour cerner la notion de dyscalculie développementale » in *A.N.A.E.* (n°102, Tome 2, pages 117-133).
- 23 - Fischer, J.-P. [2] (2009). « La dyscalculie développementale : une conclusion » in *A.N.A.E.* (n°102, vol.21, pages 179-185).
- 24 - Franc, S. (2005). « Evaluation et prise en charge médicale des dyspraxies de développement » in *Les dyspraxies de l'enfant* (pages 37-52). Paris : Masson.

- 25 - Gaie, B. (2006). « Pratique de psychothérapie auprès d'enfants dyspraxiques » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 220-225).
- 26 - Gaillard, F., Willadino-Braga, L. (2005). « Calcul et langage dans le développement et les troubles de l'apprentissage » in *Troubles du calcul et dyscalculies de l'enfant* (pages 195-216). Paris : Masson.
- 27 - Gérard, C.-L. (2005). « Le concept de dyspraxie » in *Les dyspraxies de l'enfant* (pages 15-24). Paris : Masson.
- 28 - Sous la dir. de Golse, B. (2001). *Le développement affectif et intellectuel de l'enfant*. Paris : Masson.
- 29 - Gouin Décarie, T., Ricard, M. (2000). « Piaget revisité. La théorie piagétienne de la petite enfance et ses critiques » in *L'esprit piagétien, hommage international à Jean Piaget* (pages 99-123). Paris : Presses universitaires de France.
- 30 - Sous la dir. de Houdé, O. et Meljac, C. (2000). *L'esprit piagétien, hommage international à Jean Piaget*. Paris : Presses universitaires de France.
- 31 - Hurtrez, E. (2006). « Apprentissage de la lecture et des mathématiques chez de jeunes élèves présentant une dyspraxie visuo-spatiale » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 191-200).
- 32 - Lacert, Ph., Bloch, H. (2005). « Organisation et développement normaux des gestes chez l'enfant » in *Les dyspraxies de l'enfant* (pages 7-13). Paris : Masson.
- 33 - Laval, V. (2002). *La psychologie du développement : modèles et méthodes*. Paris : Armand Colin.
- 34 - Lécuyer, R. (2000). « De la pensée à l'acte » in *L'esprit piagétien, hommage international à Jean Piaget* (pages 89-98). Paris : Presses universitaires de France.
- 35 - Le Lostec, G. (2006). « Troubles du graphisme : les difficultés rencontrées par l'enfant dyspraxique » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 179-183).
- 36 - Leroy-Malherbe, V. (2005). « Dyspraxies et séquelles de lésions pariéto-occipitales chez l'enfant né prématurément » in *Les dyspraxies de l'enfant* (pages 25-35). Paris : Masson.

- 37 - Lussier, F., Flessas, J. (2009). *Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et de l'apprentissage*, 2^{ème} édition. Paris : Dunod.
- 38 - Marchall, F., Quentin, V. (2006). « La démarche diagnostique dans la dyspraxie » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 159-163).
- 39 - Marinthe, C., Fayol, M., Barrouillet, P. (1999). « Performances perceptivo-tactiles et performances arithmétiques chez le jeune enfant » in *Rééducation orthophonique* (n°199, pages 69-79).
- 40 - Mazeau, M. (2006). « Historique et évolution de la notion de dyspraxie » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 143-150).
- 41 - Mazeau, M. (2005). *Neuropsychologie et troubles des apprentissages, du symptôme à la rééducation*. Paris : Masson.
- 42 - Mazeau, M. (1999). « Aspects cliniques des dyscalculies chez l'enfant » in *Rééducation orthophonique* (n°199, pages 113-129).
- 43 - Mazeau, M. (1995). *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant atteint de lésions précoces : du trouble à la rééducation*. Paris : Masson.
- 44 - Meljac, C. et Lemmel, G. (2007). *Observer et comprendre la pensée de l'enfant avec l'UDN 2*. Paris : Dunod.
- 45 - Meljac, C., Lemmel, G. (1999) *Manuel de l'UDN 2*. Paris : ECPA.
- 46 - Meneguzzi, S., Barbeau, M. (2005). « Aspects cognitifs des dyspraxies » in *Les dyspraxies de l'enfant* (pages 53-69). Paris : Masson.
- 47 - Sous la dir. de Metz-Lutz, M.-N., Demont, E., Seegmuller, C., Agostini, M., Bruneau, N. (2004). *Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge*. Marseille : Solal.
- 48 - Noël, M.-P. (2005). « Le transcodage chez l'enfant » in *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pages 111-122). Paris : Masson.

- 49 - Pesenti et Rousselle (2005). « Les procédures de quantification chez l'enfant » in *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pages 92-110). Paris : Masson.
- 50 - Sous la dir. de Pesenti, M., Seron, X. (2000). *Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres*. Marseille : Solal.
- 51 - Piaget, J. (1977). *Recherches sur l'abstraction réfléchissante : 1/L'abstraction des relations logico-mathématiques*. Paris : PUF.
- 52 - Piaget, J. (1967). *Psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.
- 53 - Piaget, J., Inhelder, B. (1959). *La genèse des structures logiques élémentaires ; classifications et sériations*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.
- 54 - Rivière, J. (2000). « Motricité et cognition : des relations controversées » in *Le développement psychomoteur du jeune enfant, idées neuves et approches actuelles*. Marseille : Solal.
- 55 - Rosselli, M., Matute, E. (2005). « Neuropsychologie de la dyscalculie développementale : derniers résultats de recherche en Amérique du Nord » in *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pages 175-185). Paris : Masson.
- 56 - Rubinsten, O. (2009). « Peut-on caractériser davantage la distinction entre les dyscalculies développementales pure et avec comorbidité » in *A.N.A.E.* (n°102, vol. 21, pages 158-164).
- 57 - Siegler, R. (2001). *Enfant et raisonnement, le développement cognitif de l'enfant*. Paris : De Boeck Université.
- 58 - Troadec, B., Martinot, C. (2003). *Le développement cognitif : Théories actuelles de la pensée en contexte*. Paris : Belin.
- 59 - Van Hout, A. (2005). « Dyscalculies développementales » in *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant* (pages 143-174) Paris : Masson.
- 60 - Vannetzel, L., Eynard, L.-A., Meljac, C. (2009). « Dyscalculie : une rencontre difficile » in *A.N.A.E.* (n°102, vol.21, pages 135-144).

61 - Von Aster, M.-G. (2009). « Le problème de la comorbidité dans les troubles du calcul » in *A.N.A.E.* (n°102, vol.21, pages 152-157).

62 - Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris : La Dispute.

63 - Xavier, J., Mayer, C., Kloechner, A., Perisse, D., Plaza, M., Cohen, D. (2006). « Les dyspraxies de l'enfant : le point de vue du psychiatre » in *A.N.A.E.* (n°88/89, vol.18, pages 226-233).

Tests utilisés :

64 - Meljac, C., Lemmel, G. (1999). *UDN 2, Construction et utilisation du nombre*. Paris : E.C.P.A.

65 - Von Aster, M. ; Version française : Dellatolas, G. (2006). *Zareki-R Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris : E.C.P.A.

Annexes

Annexe 1 : Développement psychomoteur selon Dunn

3 ans	4 ans	5 ans	6 ans
• Copie des droites (verticales/horizontales). • Copie le carré en imitation. • Trace le contour d'un losange	• Copie les diagonales. • Dessine un cercle au tableau. • Immobilise sa feuille pour écrire ou dessiner.	• Copie un triangle. • Copie son prénom.	• Copie un losange en imitation. • Copie un triangle inversé en imitation. • Ecrit son nom de mémoire. • Découpe des formes (carrés, triangles et cercles) en suivant la ligne.
• Construit une tour (9/10 blocs). • Place 10 petites perles dans une bouteille en 30sec. • Découpe avec les ciseaux.	• Construit une pyramide (6 blocs). • Tient correctement les ciseaux, coupe entre les lignes.	• Construit des marches (6 blocs de haut). • Place 10 petites perles dans une bouteille en 20sec. • Découpe une bande (2 cm). • Découpe en suivant les courbes.	• Tartine avec un couteau. • Attache ses souliers seul. • Se mouche.
• Mange seul avec la cuillère, la fourchette. • Se déshabille. • Met ses pantalons. • Se brosse les dents.	• Commence à couper avec un couteau. • S'habille. • Actionne sa fermeture Eclair. • Boutonne sa veste.	• Utilise couteau et fourchette ensemble. • S'habille et se déshabille seul. • Apprend à lacer ses souliers. • Brosse et peigne ses cheveux.	
• Apparie les couleurs primaires. • Fait des casse-têtes de 4 pièces. • Reconnaît le stimulus qui manque à partir d'un ensemble déjà vu.	• Apparie les couleurs des objets aux couleurs de papiers. • Fait des casse-têtes de 8/12 pièces. • Se souvient de 3 stimuli visuels. • Identifie des objets usuels par le toucher.	• Apparie selon la forme et la grosseur. • Place 10 formes dans leur trou d'encastrement. • Reconnaît des objets nommés par le toucher.	• Ordonne correctement des formes selon leur grandeur. • Reconnaît sa gauche et sa droite. • Retrouve de mémoire les images déjà vues.
• Marche de côté. • Descend les marches en alternant les pieds. • Marche sur la pointe des pieds.	• Court sur la pointe des pieds. • Galope. • Marche à grandes enjambées. • Commence la course rapide.	• Saute et gambade. • Court sans perdre l'équilibre.	• Marche ou saute au rythme de la musique. • Fait des courses avec une bonne maîtrise des mouvements.
• Saute sur 2 pieds. • Peut tourner en se déplaçant.	• Saute sur un pied. • Se tient sur un pied (1-5 sec.). • Marche sur une poutre basse. • Marche de côté en équilibre sur la poutre en glissant les pieds.	• Se tient sur un pied (5/10 sec.). • Marche en alternant les pieds sur une poutre.	• Marche sur la pointe des pieds sur 4 à 5 mètres. • Recule talon-pointe. • Saute sur un pied en courant.
• Evite et contourne les obstacles.	• Grimpe bien. • Imité la marche des animaux. • Saute par-dessus de petits objets.	• Se balance sur une balançoire. • Recule et tourne en tricycle. • Grimpe les échelles.	• Saute à la corde. • Commence la bicyclette. • Joue à la marelle. • Patine.
• Donne un coup de pied et lance vers une cible. • Attrape le ballon à 2 mains.	• Donne un coup de pied avec le pied dominant sans perdre l'équilibre. • Attrape une balle avec les bras et le corps.	• Dribble la balle avec les mains. • Attrape la balle avec les mains. • Fait rouler la balle avec son pied.	• Frappe la balle avec un bâton. • Attrape la balle avec une main. • Donne un coup de pied sur la balle en courant.

Figure 28 : tableau présentant le développement psychomoteur selon Dunn (1992), cité par Lussier et Flessas (2009, page 260)

CF. *Assessing and Screening Preschoolers*, Nutall, Romero, Kalesnitz, Allyn and Bacon. Autorisation de reproduction accordée par Allyn and Bacon ©.

Annexe 2 : Modèle des quatre quadrants de Lussier et Flessas

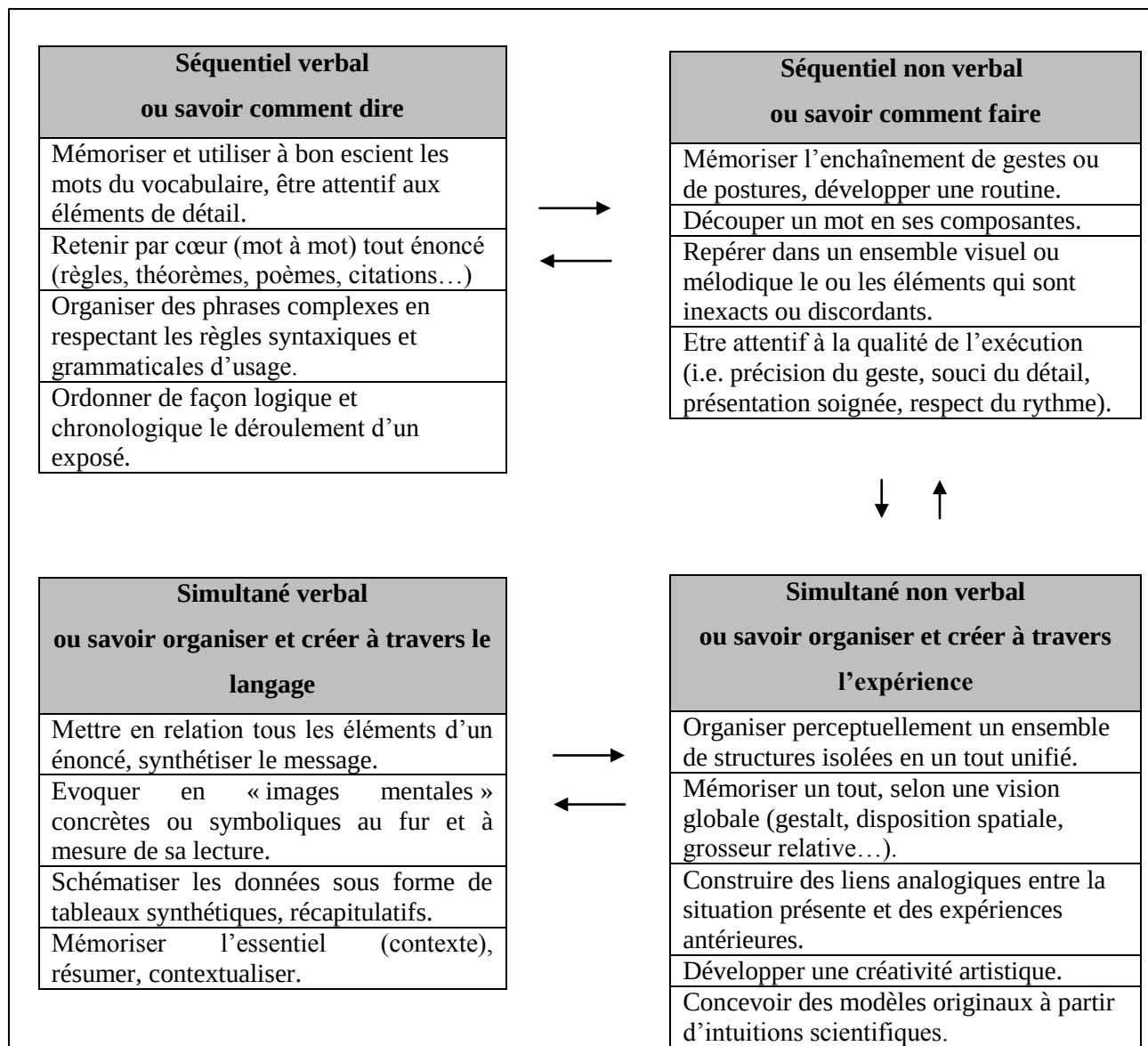


Figure 29 : schéma présentant le modèle des quatre quadrants de Lussier et Flessas, 2009, page 84.

Annexe 3 : Questionnaire d'anamnèse

Ce questionnaire permet de retracer le développement moteur et cognitif de votre enfant. Ceci nous permettra, après analyse des données du bilan, de tenter de faire d'éventuels liens avec les autres enfants concernés par cette étude et de formuler des hypothèses qui expliqueraient les résultats obtenus.

Nom et prénom de l'enfant :

Date de naissance :

Classe :

Généralités :

- Latéralité manuelle :
 - ☐ Gaucher
 - ☐ Droitier
 - ☐ Ambidextre
 - ☐ Pas encore définie

- Votre enfant pratique t'il ou a-t'il pratiqué des activités extrascolaires ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui :

Lesquelles et durant combien de temps ?

- Le père ou la mère de l'enfant a-t'il/elle éprouvé des difficultés d'apprentissage ?

Père :

- ☐ Non
- ☐ Oui, lesquelles ?

Mère

- ☐ Non
- ☐ Oui, lesquelles ?

Histoire du développement :

- Naissance à terme :
 - ☐ Oui
 - ☐ Non. Combien de semaines d'aménorrhée ?

- Poids à la naissance :

- Age de la station assise :

- Votre enfant est-il passé par la marche à 4 pattes ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- Age de la marche autonome (sans aide de l'adulte) :

- Age d'acquisition de la propreté :
 - Jour :
 - Nuit :

- Votre enfant essayait-il de prendre des objets à sa portée ?
 - ☐ Beaucoup
 - ☐ Modérément
 - ☐ Peu
 - ☐ Pas du tout

- Quelle était la qualité de sa préhension ?
 - ☐ Bonne
 - ☐ Maladroite
 - ☐ Hésitante
 - ☐ Autre :

- Age où il/elle a su faire du vélo avec stabilisateurs : _____ sans stabilisateurs :

- Votre enfant sait-il couper ses aliments avec un couteau ?

- Votre enfant s'habille t'il seul ?
 - ☐ Oui, depuis l'âge de :
 - ☐ Non. Quelles sont ses difficultés ? (par exemple : ordre d'enfilement ou sens des vêtements, fermeture des boutons, braguettes, etc....)

- Votre enfant sait-il faire ses lacets ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- Comment définiriez-vous le comportement de votre enfant vis-à-vis de son environnement matériel, comment se comportait-il dans ses différents lieux de vie ? (Par exemple, était-il plutôt curieux, peureux, indifférent...)

- Développement du langage :
 Age des premiers mots :
 Age des premières phrases (sujet + verbe + complément) :
 Diriez-vous que votre enfant s'exprime bien ?

- Etait-il intelligible à son entrée en petite section de maternelle ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- A-t'il bénéficié d'un suivi orthophonique concernant le développement du langage ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui :
 A quel âge ?
 Pendant combien de temps et à quel rythme (nombre de rendez-vous par semaine) ?

- A-t-il joué à des jeux type jeux de construction (Lego, Duplo, Puzzles, encastrements...) ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui :
 Lesquels et à quel âge ?

 Quel intérêt a-t'il manifesté vis-à-vis de ces jeux ?
 - ☐ Il s'est beaucoup intéressé et a beaucoup joué
 - ☐ A commencé à s'y intéresser mais les a vite abandonnés
 - ☐ Ne s'y est jamais intéressé
 - ☐ Autre :

- Quels sont ses autres jeux ?

- S'il joue à des jeux vidéo : à quels types de jeux joue t'il?

- ☐ Aventure
- ☐ Combat
- ☐ Course
- ☐ Jeu de rôle
- ☐ Réflexion, stratégie
- ☐ Sport
- ☐ Autre :

Sur quel(s) support(s) ?

- ☐ Ordinateur
- ☐ Nintendo Wii
- ☐ Nintendo DS
- ☐ Sony PSP
- ☐ Playstation
- ☐ Xbox
- ☐ Autres :

- Lorsque votre enfant coloriait avait-il tendance à déborder ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- Comment qualifieriez-vous les dessins de votre enfant ?
 - ☐ Beaux, normaux pour l'âge
 - ☐ Brouillons
 - ☐ Autre :

- Le découpage aux ciseaux était-il grossier ou maladroit pour l'âge ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- Avez-vous l'impression que votre enfant est perdu dans le temps ?
 - ☐ Toujours
 - ☐ Souvent
 - ☐ Parfois
 - ☐ Jamais

- Votre enfant sait-il lire l'heure ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non
- D'une façon générale, quels sont ses principaux traits de caractère ?

Troubles dyspraxiques :

- Age du diagnostic de dyspraxie :
- Type de dyspraxie :
- De quelles prises en charge a-t'il bénéficié et à quel rythme ?
- Votre enfant a-t-il bénéficié d'une prise en charge spécifique concernant le développement du raisonnement logico-mathématique ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui

Laquelle (orthophonie, autre...) et à quel rythme ?

- Présente-il des troubles associés à la dyspraxie (dyslexie, TDA/H¹, autres...) ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui

Le(s)quel(s) ?

Est-il traité pour ce trouble ?

Traitement médicamenteux, le(s)quel(s) ?

¹ TDA/H : trouble déficitaire de l'attention avec/sans hyperactivité.

Prise(s) en charge spécifique(s), la(les)quelle(s) ?

- Votre enfant fait-il souvent des fautes d'étourderie, des oublis ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

- A-t'il du mal à se concentrer et à rester concentré sur ce qu'il fait ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

Scolarité :

- En quelle classe est votre enfant actuellement ?

- Votre enfant suit-il un enseignement classique ?
 - ☐ Oui
 - ☐ Non

Est-il scolarisé en CLISS, école à domicile, autre ?

- Si votre enfant éprouve des difficultés particulières, quelles sont les matières qui lui posent problème ?
 - ☐ Français
 - ☐ Mathématiques
 - ☐ Histoire/Géographie
 - ☐ Langues
 - ☐ Autre :

- Votre enfant a-t'il déjà redoublé une classe ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui

Laquelle ?

Selon vous, comment s'est déroulé le redoublement ?

- Des aménagements ont-ils été proposés pour suppléer aux difficultés de l'enfant ?
 - ☐ Non

- ☐ Ordinateur
 - ☐ Secrétariat
 - ☐ Polycopiés
 - ☐ RASED
 - ☐ Auxiliaire de Vie Scolaire (AVS)
 - ☐ Autre :
-
- Selon vous, l'apprentissage de la lecture :
 - ☐ S'est bien déroulé
 - ☐ A été difficile mais votre enfant lit maintenant correctement
 - ☐ Est toujours difficile
 - ☐ Autre :
-
- Quelle est la qualité du graphisme (dessin et écriture) ?
 - ☐ Bon
 - ☐ Fluctuant
 - ☐ Brouillon
 - ☐ Nécessite beaucoup d'efforts
 - ☐ Autre :
-
- Votre enfant éprouve-t-il des difficultés particulières concernant l'apprentissage des mathématiques ?
 - ☐ Non
 - ☐ Oui
-
- S'il éprouve des difficultés en mathématiques, selon vous cela concerne :
 - ☐ La mémorisation des tables d'addition et de multiplication
 - ☐ Le calcul
 - ☐ La pose des opérations
 - ☐ L'écriture des nombres
 - ☐ Les aspects logiques
 - ☐ La résolution de problèmes
 - ☐ Autre :
-
- Votre enfant éprouve-t-il des difficultés en géométrie ? Utilise-t-il du matériel spécifique ?

Annexe 4 : Ordre de passation des épreuves de l'UDN2

Pour les enfants de 5 ans 9 mois à 8 ans 11 mois :

1. Classification de 27 cartes

Si échec : proposer la classification à 9 cartes

2. Conservation des longueurs

Si réussite : proposer l'épreuve de conservation du poids

Si échec : proposer l'épreuve de conservation de la substance

3. Sériation de 10 baguettes

Si échec : proposer l'épreuve de sériation de 5 baguettes

4. Conservation du poids (si réussite à la conservation de la longueur)

4 BIS. Conservation de la substance (si échec à la conservation de la longueur)

5. Inclusion

6. Conservation des quantités discontinues

Pour les enfants de 9 ans à 11 ans :

1. Classification

Si échec : proposer la classification à 9 cartes

2. Conservation du poids

Si échec : proposer la conservation des longueurs

Si réussite : proposer l'épreuve de dissociation poids/volume

3. Sériation de 10 baguettes

4. Conservation des longueurs

Si échec proposer l'épreuve de conservation des quantités discontinues

5. Inclusion

6. Conservation des quantités discontinues

7. Dissociation poids/volume

Annexe 5 : Index des figures

Figure 1 : tableau des critères diagnostics des classifications CIM-10 et DSM-IV	20
Figure 2 : schéma d'intégration des différents modèles, par Lussier et Flessas (2009).	27
Figure 3 : tableau de présentation des épreuves spatiales et non spatiales du Zareki-R	100
Figure 4 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation des quantités discontinues.....	104
Figure 5 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation des quantités discontinues.....	105
Figure 6 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation des longueurs.....	106
Figure 7 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation des longueurs	106
Figure 8 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation de la substance	108
Figure 9 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de conservation du poids	109
Figure 10 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de conservation du poids ...	110
Figure 11 : tableau de synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de conservation.....	112
Figure 12 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de sériation.....	113
Figure 13 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de sériation	114
Figure 14 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de classification de 9 cartes	116
Figure 15 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve de classification de 27 cartes.....	117
Figure 16 : tableau de présentation des écarts à la norme à l'épreuve de classification	117
Figure 17 : tableau de présentation des résultats à l'épreuve d'inclusion	118
Figure 18 : tableau de synthèse des retards d'acquisition aux épreuves de logique élémentaire....	120
Figure 19 : tableau de présentation des résultats aux épreuves du Zareki-R.....	121
Figure 20 : tableau de présentation des taux d'échecs par épreuves au Zareki-R.....	123
Figure 21 : graphique de présentation des réponses concernant le développement de l'enfant	128
Figure 22 : graphique de présentation des réponses concernant les difficultés en mathématiques	129
Figure 23 : graphique de présentation des réponses concernant les difficultés scolaires.....	130
Figure 24 : graphique de présentation des réponses concernant la manipulation des objets.....	131
Figure 25 : graphique de présentation des réponses concernant le comportement vis-à-vis de l'environnement matériel	132
Figure 26 : graphique de présentation des réponses concernant le repérage temporel.....	133
Figure 27 : graphique de présentation des réponses concernant les capacités attentionnelles	134
Figure 28 : tableau présentant le développement psychomoteur selon Dunn (1992), cité par Lussier et Flessas (2009, page 260)	156
Figure 29 : schéma présentant le modèle des quatre quadrants de Lussier et Flessas, 2009, page 84.	157