HAL
open science

Paralysie cérébrale : impact des troubles neurovisuels sur les compétences logico-mathématiques, étude de 7 enfants cérébrolésés

Gaëlle Crenn

To cite this version:

Gaëlle Crenn. Paralysie cérébrale : impact des troubles neurovisuels sur les compétences logico-mathématiques, étude de 7 enfants cérébrolésés. Médecine humaine et pathologie. 2013. dumas-01503654

HAL Id: dumas-01503654

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01503654v1

Submitted on 7 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Nice Sophia Antipolis

Faculté de Médecine
ECOLE D'ORTHOPHONIE

MEMOIRE présenté en vue de l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

CRENN Gaëlle
Née le 07 mai 1982 à BREST

PARALYSIE CEREBRALE :

Impact des troubles neurovisuels sur les compétences logico-mathématiques, Etude de 7 enfants cérébrolésés

Mémoire dirigé par :

THUBE-POLI Isabelle,
Orthophoniste

VERNOUX-VIVES Sylvie,
Orthophoniste

COTTA Nelly,
Orthophoniste

Nice

2013

© Université Nice Sophia Antipolis – Faculté de Médecine - Ecole d'Orthophonie.

Université de Nice Sophia Antipolis - Faculté de Médecine – Ecole d'orthophonie

MEMOIRE présenté en vue de l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

Par

CRENN Gaëlle
Née le 07 mai 1982 à BREST

PARALYSIE CEREBRALE :

Impact des troubles neurovisuels sur les compétences logico-mathématiques, Etude de 7 enfants cérébrolésés

Mémoire dirigé par :

THUBE-POLI Isabelle,
Orthophoniste

VERNOUX-VIVES Sylvie,
Orthophoniste

COTTA Nelly,
Orthophoniste

Nice

2013

CC BY NC ND

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très sincèrement Madame Thubé-Poli, Madame Vernoux-Vives et Madame Cotta qui se sont investies et m’ont conseillée et guidée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie vivement Madame Altero-Sirieys et Madame Blondet pour le temps qu’elles ont consacré à la lecture de ce travail.

Merci à Marianne Lamour, Joëlle Sanna, Rachel Fontaine, Pascale Parant ainsi qu’à toute l’équipe et aux enfants de l’IEM Rossetti pour leur accueil chaleureux et leur dynamisme contagieux.

Je tiens à remercier les enfants qui ont accepté de participer à cette étude pour leur confiance, leur bonne humeur et leur leçon de courage.

Un grand merci à ma famille qui m’a encouragée et soutenue tout au long de ces quatre années.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS **3**

SOMMAIRE **4**

INTRODUCTION **6**

PARTIE THEORIQUE **7**

I. PARALYSIE CEREBRALE – GENERALITES 8
1. Définitions *8*
2. Prévalence *9*
3. Etiologies des facteurs de risque *10*
4. Clinique *14*
5. La parole *23*
6. Le langage *26*
7. La communication *27*
II. LES TROUBLES NEUROVISUELS CHEZ L'ENFANT CEREBROLESE 29
1. La neurovision *29*
2. Les troubles neurovisuels *38*
III. LES COMPETENCES NUMERIQUES DE L'ENFANT PARALYSE CEREBRAL 50
1. La construction du nombre chez l'enfant *50*
2. L'apprentissage de la numération chez l'enfant cérébrolésé présentant des troubles neurovisuels *66*

PARTIE PRATIQUE **77**

I. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES 78
II. PRESENTATION DE LA POPULATION 79
1. Choix de la population *79*
2. Recueil de la population *79*
III. CONDITIONS DE PASSATION 80
IV. DESCRIPTION DES EPREUVES 80
1. Batterie de dépistage des troubles neurovisuels : EVA *81*
2. Test des compétences de base en mathématiques *91*
V. RESULTATS 107
1. Type d'analyse des résultats *107*
2. Analyse des résultats *107*
3. Synthèse des résultats par domaine *136*
4. Analyse et mise en relation des capacités neurovisuelles avec les compétences logiques et numériques *142*

DISCUSSION **149**

I. LIMITES METHODOLOGIQUES 150
II. APPORTS DE CETTE RECHERCHE 150
1. Troubles neurovisuels et opérations logiques *151*
2. Troubles neurovisuels et opérations numériques *152*
3. Réflexion *153*

CONCLUSION **159**

BIBLIOGRAPHIE **160**

ANNEXES **163**

ANNEXE I : SYNTHESE DES COMPETENCES NEUROVISUELLES 164
ANNEXE II : SYNTHESE DES OPERATIONS LOGIQUES 165
1. La classification *165*
2. La sériation *165*
3. L'inclusion *166*
4. Les conservations *166*
ANNEXE III : SYNTHESE DES OPERATIONS NUMERIQUES 167
1. Les capacités de quantification *167*

2. L'utilisation du nombre *167*

TABLE DES MATIERES **168**

INTRODUCTION

La paralysie cérébrale est une pathologie complexe entraînant des incapacités motrices plus ou moins importantes et des déficits associés. Ces troubles sont la conséquence de lésions cérébrales précoces dont l'origine est péri ou post-natale.

L'enfant cérébrolésé présente, outre son handicap moteur, des troubles associés notamment neurovisuels qui peuvent nuire à la qualité de ses apprentissages. En effet, les fonctions visuo-attentionnelles influent sur le traitement cérébral des informations visuelles.

Les anomalies corticales ont pu être objectivées grâce aux progrès des neurosciences, en particulier de la neuro-imagerie. L'existence de lésions neuroanatomiques dans des régions qui sous-tendent à la fois les fonctions visuelles et logico-mathématiques nous a amenés à nous interroger sur la possible corrélation entre ces troubles du regard et les difficultés dans l'acquisition du nombre.

Afin d'apporter des éléments de réponse, nous avons étudié d'une part le comportement neurovisuel d'enfants cérébrolésés par l'utilisation du test EVA, d'autre part leurs compétences logiques et numériques par la passation d'épreuves issues de la B-LM, du Tedi-Math ou mises au point par nos soins.

Une première partie sera consacrée à un rappel théorique traitant des domaines de cette recherche.

Nous exposerons tout d'abord les principales caractéristiques de la paralysie cérébrale. Une partie sera ensuite consacrée à la description des troubles neurovisuels. Enfin, nous nous attarderons sur les compétences logiques et numériques de l'enfant en général puis dans le cadre de cette pathologie.

Suite à cette première étape faisant revue de la littérature sur ces sujets, nous exposerons dans une seconde partie notre démarche de travail et les résultats obtenus par notre population d'étude. Cette analyse servira de base à notre réflexion.

Chapitre I

PARTIE THEORIQUE

I. Paralysie cérébrale – Généralités

1. Définitions

La paralysie cérébrale regroupe divers troubles du système nerveux présents à la naissance ou apparaissant dans les premières années de vie, c'est-à-dire sur un cerveau en développement. Elle est caractérisée par une lésion cérébrale non héréditaire et non évolutive entraînant des troubles du mouvement et de la posture. Ce trouble est permanent mais d'expression changeante dans le temps.

C'est en 1843 que paraissent les premiers travaux de John Little à propos d'enfants présentant une paralysie des membres inférieurs à la suite d'accouchements difficiles. Cinquante ans plus tard, Freud élabore une première classification des symptômes. En 1947 aux Etats-Unis, W. Phelps, orthopédiste, et H. M. Perlstein, pédiatre, posent le cadre de la Cerebral Palsy (Paralysie Cérébrale) qui comprend les encéphalopathies ayant comme point commun des séquelles motrices.

Ces travaux intéressent le professeur Guy Tardieu, neurologue à l'hôpital Bicêtre à Paris, qui en 1954 va individualiser sous le terme Infirmes Moteurs Cérébraux (IMC) une fraction des patients atteints de paralysie cérébrale, ceux dont l'intelligence est conservée. Il définit l'**Infirme Moteur Cérébral** comme appartenant à « un groupe limité de sujets paralysés cérébraux ayant en commun une lésion d'origine cérébrale fixe, d'origine périnatale, entraînant des dégâts plus ou moins considérables de la motricité, mais laissant intactes, totalement ou en grande partie, les capacités mentales et relationnelles ». Il distingue donc l'IMC du polyhandicap qui associe une déficience motrice et une déficience mentale sévère ou profonde entraînant une restriction extrême de l'autonomie.

En 2005, une nouvelle définition est établie par M. Bax, M. Goldstein, P. Rosenbaum, A. Leviton, N. Paneth et B. Dan : « la paralysie cérébrale est un ensemble de troubles permanents du développement du mouvement et de la posture, responsables de limitations d'activité, imputables à des atteintes non progressives survenues sur le cerveau en développement du fœtus ou du nourrisson. Les troubles moteurs de la paralysie cérébrale sont souvent accompagnés de troubles sensoriels, perceptifs, cognitifs, de la communication et du comportement, par une épilepsie et/ou par des problèmes musculo-squelettiques secondaires »[1].

Il existe donc des différences de définitions de la déficience motrice entre pays anglophones et francophones. Le terme de paralysie cérébrale utilisé dans les recherches anglo-saxonnes recouvre un

[1] ROSENBAUM P, PANETH N, LEVITON A, GOLSTEIN M, BAX M, DAMIANO D, DAN B, JACOBSON B. The Definition and Classification of Cerebral Palsy. *Dev Med Child Neurol*, n°47, 2005, p 571–576

ensemble de dysfonctionnements moteurs non évolutifs mais souvent changeants, secondaires à des lésions ou à des anomalies cérébrales qui surviennent à des stades précoces du développement.

Le terme d'Infirmité Motrice Cérébrale (IMC) souvent utilisé en France revêt un concept légèrement différent de la Paralysie Cérébrale (PC) : il s'agit d'une lésion cérébrale avec troubles moteurs prédominants et non évolutifs, à l'exclusion des encéphalopathies avec insuffisance de développement psychomoteur. Associée à un retard mental, on parle alors d'Infirmité Motrice d'Origine Cérébrale (IMOC). L'association IMC-IMOC est assimilée à la Paralysie Cérébrale[2].

Les tableaux cliniques sont rarement purs et la distinction IMC-IMOC difficile à établir. Dans le cadre de notre étude, nous utiliserons le terme Paralysie Cérébrale (PC) qui tend à se généraliser à l'échelle internationale.

2. Prévalence

La prévalence du handicap de l'enfant se définit en fonction de l'âge. Deux ans sont nécessaires pour identifier une déficience ou incapacité motrice. Ce sont les difficultés d'acquisition des schèmes moteurs à des âges clés qui peuvent orienter le diagnostic vers une PC : tenue de tête à 3 mois, station assise à 6-7 mois, passage de la position couchée à assise à 8-10 mois, premiers pas à 12-14 mois, marche à 18 mois.

Cependant, cette prévalence reste difficile à établir car les études épidémiologiques sondent des populations hétérogènes. On retrouve dans plusieurs études les données suivantes :

En Europe, aux États-Unis et en Australie, la prévalence de la PC se situe entre 2 et 2,5 pour 1000 enfants du même âge. En France, elle est de près de 2/1000 [3].

Une étude EPIPAGE (étude EPIdémiologique sur les Petits Ages GEstationnels) évaluait en 2008 en France une prévalence des PC à 9% des enfants grands prématurés à 5 ans [4].

Les malformations congénitales du système nerveux central représentent environ 2 à 4/1000 naissances, les lésions cérébrales périnatales environ 2/1000 (Pr Arthuis) [5].

[2] Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, *Rapport INSERM 2004*, p 8
[3] Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, *Rapport INSERM 2004*, p 12
[4] LARROQUE B et Al, Etude EPIPAGE, mars 2008
[5] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p11-22

3. Etiologies des facteurs de risque

3.1. Paralysies cérébrales congénitales

Présente à la naissance, la paralysie cérébrale est dite congénitale. Ce terme employé d'abord dans les études américaines tend à se généraliser. La PC congénitale regroupe les causes anténatales et néonatales : la prématurité, le retard de croissance intra-utérin, les infections, la souffrance anoxique et l'ictère du nouveau-né.

3.1.1. La prématurité

Une naissance est prématurée lorsqu'elle survient avant 37 semaines révolues d'aménorrhée.

Quatre stades de prématurité peuvent être distingués : la petite prématurité s'étend du début de la 33ème semaine d'aménorrhée (SA) à la fin de la 36ème SA, la grande prématurité va du début de la 28ème à la fin de la 32ème SA, la très grande prématurité concerne les enfants nés au cours des 26ème et 27ème SA, l'extrême prématurité est définie par une naissance survenant avant la 26ème SA.

Les séquelles de prématurité représentent 50% des lésions néonatales[6]. La prévalence se situe entre 85 et 95 pour 1000 naissances vivantes avant 28 SA, 50 et 60 entre 28 et 31 SA, 3 et 6 entre 32 et 36 SA et environ de 1/1000 à terme[7].

La proportion de naissances prématurées augmente régulièrement : selon des données statistiques de l'INSEE, la part des naissances de moins de 37 SA s'est accrue de 50 pour 1000 naissances en 1992 à 64 pour 1000 en 2007. Cette variation s'explique par plusieurs facteurs : une augmentation du nombre de naissances (+4 % entre 1995 et 2003), des grossesses multiples plus nombreuses (une grossesse gémellaire augmente de 50% les risques de prématurité) favorisées par le recours de plus en plus fréquent à l'assistance médicale à la procréation, une baisse du taux de mortalité infantile grâce aux progrès de la prise en charge périnatale (la viabilité des prématurés fixée par l'OMS est de 22 SA et 500g depuis 2002), un nombre plus important d'accouchements provoqués par césarienne avant travail ou de déclenchement de l'accouchement, un âge moyen des grossesses plus élevé (30,1 ans en 2010, 2 ans de plus qu'en 1988, 3 ans de plus qu'en 1982), ainsi qu'une évolution du mode de vie des femmes (stress, travail, tabac, alcool …)[8].

La prématurité est un facteur de risque de paralysie cérébrale car les zones corticales sont fragiles et en pleine période de maturation. Il y a alors atteinte ou inhibition du développement normal de certaines aires

[6] REVOL F, *Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités*, Rééducation orthophonique, 1998, n°193, p11-22
[7] *Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge*, Rapport INSERM 2004, p 57
[8] NIEL X, *Les facteurs explicatifs de la mortalité infantile en France et leur évolution récente*, Rapport INSEE 2011

du cerveau causant des troubles moteurs et cognitifs. Le cerveau de l'enfant prématuré subit un traumatisme important. C'est entre la 26ème et la 36ème SA que neurones et axones se développent parallèlement à l'activité métabolique autour des noyaux gris centraux, du noyau caudé, du cervelet et des radiations optiques. Ces zones sont impliquées dans le contrôle moteur, d'où les nombreuses difficultés de l'enfant prématuré. De plus, la fragilité des vaisseaux augmente les risques d'accident vasculaire cérébral (AVC) par ischémie, hémorragie ou trouble du flux sanguin[9].

3.1.2. Le retard de croissance intra-utérin (RCIU)

L'hypotrophie fœtale (ou RCIU) est définie par un retard de croissance du poids, de la taille, du périmètre crânien ou du périmètre abdominal par comparaison à une norme compte tenu de l'âge gestationnel. Il existe deux grands types de RCIU : harmonieux lorsqu'il touche de façon homogène le fœtus (le retard de croissance touchant aussi bien le pôle céphalique, l'abdomen et les membres) ou disharmonieux lorsque le retard domine sur un pôle.

Le RCIU concerne 3 à 5% des naissances. La proportion d'enfants de moins de 2500g est de plus en plus élevée. En effet, elle est passée de 6.2 à 7.2% entre 1995 et 1998[10].

De même que la prématurité, le RCIU peut être dû à différents processus physiopathologiques comme une diminution des échanges foeto-maternels (par une diminution du débit utéro placentaire), une altération de la qualité du sang maternel ou des anomalies fœtales. Dans 30% des cas, aucune cause n'est identifiée.

Le RCIU à terme est un facteur de risque de déficience motrice grave. Le risque de paralysie cérébrale serait 3 à 5 fois plus élevé chez ces enfants que chez les enfants eutrophiques (c'est-à-dire dont le développement est harmonieux) (Blair 1990)[11].

3.1.3. Les infections

a. Les infections materno-foetales

Des études ont établi une corrélation significative entre la survenue de leucomalacie périventriculaire et une infection des membranes et du liquide amniotique appelée chorioamniotite. Ceci entraîne une infection du sang chez la mère et peut provoquer une naissance prématurée et des infections graves chez le bébé nouveau-né. Chez 14% des enfants paralysés cérébraux nés à terme, la chorioamniotite est mise en cause.

[9] CROTEAU P, LORANGER M, LAPORTE P, *Fonctionnement cognitif et neuropsychologie clinique des enfants atteints de déficience motrice cérébrale*, Motricité cérébrale 2002
[10] *Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge*, Rapport INSERM 2004, p 74
[11] ANCEL P-Y, INSERM, 6ème journée de médecine fœtale, Mortzine, 2011

Les infections urinaires et vaginales ainsi que l'herpès génital peuvent de la même façon être à l'origine de lésions cérébrales.

b. Les infections fœtales

Ces infections peuvent être de nature microbiennes (listériose, infections bactériennes, syphilis), virales (grippe, rubéole, cytomégalovirus, SIDA), parasitaires (toxoplasmose, encéphalite) ou exogènes (intoxication au CO2, aux médicaments, irradiations …). Certaines infections sont aujourd'hui dépistées systématiquement par un examen obligatoire (rubéole, toxoplasme)[12].

3.1.4. Les souffrances anoxiques

L'anoxie est une « suppression de l'apport d'oxygène au niveau des tissus et des cellules »[13]. Une diminution brutale du débit sanguin artériel ou une dysrégulation de ce débit en sont les causes[14]. Elle entraîne des altérations neuronales importantes et peut se produire au cours de la vie fœtale ou lors de l'accouchement. L'accident anoxique provoque des encéphalopathies (affection encéphalique), des leucomalacies périventriculaires (nécrose de la substance blanche autour des ventricules) ou des atrophies corticales.

10% à 15% des PC semblent être dues à une asphyxie périnatale[15].

3.1.5. L'ictère du nouveau-né

L'accumulation d'un pigment appelé bilirubine dans les tissus du bébé va provoquer un ictère, communément nommé jaunisse.

La bilirubine est issue de la dégradation de globules rouges. Cette dégradation peut être importante à la naissance lorsqu'il existe une incompatibilité rhésus entre la mère et l'enfant. La bilirubine est normalement évacuée par les cellules du foie, cependant, certaines de ces cellules peuvent être immatures, rendant insuffisante la synthèse du pigment et provoquant une hyperbilirubinémie.

L'encéphalopathie bilirubinique est liée au dépôt, sur les noyaux gris centraux du cerveau, de la bilirubine en excès dans le plasma qui entraîne une nécrose cellulaire rapide. Elle se traduit par des troubles majeurs du tonus (hypo puis hypertonie de l'axe corporel) ou par un déficit auditif.

---

[12] Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, *Rapport INSERM 2004*, p 61
[13] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[14] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p11-22
[15] Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, *Rapport INSERM 2004*, p 62

Au moment de la naissance, le bébé produit 2 à 3 fois plus de bilirubine qu'un adulte.

Les ictères néonatals touchent 30 à 40% des nouveau-nés à terme et la quasi-totalité des prématurés.

3.2. Paralysies cérébrales acquises

Lorsqu'elle survient après la naissance, la paralysie cérébrale est dite acquise. Les causes sont multiples : AVC, infections, traumatismes, tumeurs, convulsions ou maladies métaboliques.

L'**accident vasculaire cérébral** (AVC) suspend l'approvisionnement sanguin du cerveau en développement et cause une lésion. Chez le nouveau-né, la manifestation des signes déficitaires liés à la lésion est le plus souvent tardive. 58% des enfants victimes d'un infarctus cérébral néonatal présentent par la suite un déficit moteur qui se révèle lors de l'acquisition de la motricité volontaire[16]. L'AVC provoque une anoxie dont les conséquences sont les mêmes que dans la PC congénitale.

La PC peut être une séquelle d'une **infection** telle une méningite (infection des membranes protectrices du système nerveux central) ou une encéphalite (inflammation d'une partie du système nerveux central comprenant le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral).

Les **maladies métaboliques** affectent le fonctionnement des cellules. Elles sont le plus souvent génétiques.

Des **traumatismes crâniens** secondaires à un accident de la voie publique, une maltraitance ou une chute, peuvent être à l'origine de PC.

On trouve aussi des PC dues à des lésions suite à une intervention chirurgicale (ablation d'une zone cérébrale, accident de narcose lors de l'anesthésie) ou à une chimiothérapie dans le cas d'**affections tumorales**.

Les **convulsions** peuvent résulter d'une cause occasionnelle ou être le reflet d'une épilepsie. Une hyperthermie peut déclencher une crise convulsive fébrile. Liée à un processus infectieux intracrânien, il s'agit de convulsions dues à des lésions cérébrales aiguës. La partie du corps touchée par la convulsion est un indicateur sur la zone cérébrale impactée.

Une **déshydratation** de l'enfant, lors d'un épisode de gastro-entérite aiguë par exemple, est un facteur de risque de lésions cérébrales. Une baisse de la quantité d'eau en dessous d'un seuil acceptable pour l'organisme provoque une augmentation de la concentration en sels minéraux dans les cellules. Leur fonctionnement ainsi que leur croissance sont alors entravés.

[16] BEJOT Y, CHANTEGRET C, OSSEBY G, CHOUCHANE M, HUET F, MOREAU T, GOUYON J-B, GIROUD M, *Les accidents vasculaires cérébraux du nouveau-né et de l'enfant*, Revue neurologique, n°165, 2009, p 892

3.3. Causes inconnues

Dans 14% des cas de PC, aucune étiologie n'est décelée.

4. Clinique

4.1. Les troubles du contrôle moteur

La paralysie cérébrale est une **paralysie de fonction**, une désorganisation de la motricité volontaire et non une paralysie périphérique qui toucherait le muscle ou le nerf.

Plusieurs classifications ont été établies dans le but d'une utilisation d'un langage commun à des équipes pluridisciplinaires : selon le symptôme (forme que revêt le trouble moteur), la topographie du trouble (lieu où s'exprime le symptôme et étendue du déficit), ou encore selon l'atteinte de la marche (classification fonctionnelle).

4.1.1. Classification symptomatique

La PC se décline en trois tableaux cliniques.

a. Les hypertonies

L'hypertonie est une augmentation anormale du tonus d'un organe ou d'un muscle. On décrit deux formes d'hypertonie musculaire : la spasticité (liée à des lésions pyramidales) et la rigidité (liée à des lésions extra-pyramidales)[17].

La spasticité est une forme d' « hypertonie marquée des muscles du squelette avec rigidité et exagération des réflexes ostéotendineux »[18]. Cette hypertonie spastique désigne à la fois une raideur musculaire et une insuffisance de commande volontaire. Le réflexe d'étirement des muscles est exagéré.

Le réflexe d'étirement permet à la fois de maintenir en permanence le tonus de posture et de lisser les mouvements du corps.

[17] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[18] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004

La spasticité est due à une lésion des voies pyramidales, voie efférente modulant le tonus musculaire qui active essentiellement les neurones des muscles fléchisseurs et inhibe les muscles extenseurs[19].

Dans le cadre de la PC, au cours d'un mouvement volontaire, une contraction irrépressible des muscles va se produire, provoquée par la suppression de l'inhibiteur central. On observe une co-contraction des muscles antagonistes.

La forme spastique est la plus courante. Elle touche 70% des personnes atteintes de PC.

b. Les dyskinésies

Les dyskinésies sont des troubles du tonus qui se traduisent le plus souvent par une rigidité excessive, résistante à la manipulation, qui « peut s'accompagner d'une hypotonie axiale majeure ou d'une posture permanente en hyperextension »[20]. Des mouvements involontaires viennent parasiter une motricité volontaire déjà réduite. Les différents types de dyskinésies dépendent de la nature de ces mouvements involontaires.

L'**athétose** est « un mouvement involontaire qui prédomine aux extrémités, existe au repos mais disparaît au cours du sommeil. C'est un mouvement lent, de grande amplitude. »[21]. Elle est liée à une atteinte du système extrapyramidal, en particulier des noyaux gris centraux. Ce système est impliqué dans le maintien de l'équilibre statique et de l'attitude du corps pendant les mouvements volontaires ainsi que les mouvements automatiques complexes[22].

Le trouble moteur va s'exprimer par des mouvements parasites involontaires, irréguliers, exagérés, affectant surtout les extrémités des membres et la face pendant le déroulement de l'activité motrice volontaire.

Il existe un autre type de mouvement involontaire de repos : **la chorée**. Les mouvements sont plus brusques et prédominent à la racine des membres. Ils augmentent au cours du mouvement volontaire qu'ils viennent donc parasiter. On note une diminution de ces mouvements pendant le sommeil.

Le syndrome choréo-athétosique est une association des deux formes[23].

Lorsqu'il s'agit de postures anormales, on parle de **dystonie**. La dystonie est liée à une « contraction musculaire soutenue (co-contractions excessives des muscles antagonistes) mettant un membre, un segment

[19] GADBOIS J-P, Les dystonies et troubles du mouvement
[20] AMIEL-TISON C, *L'infirmité motrice d'origine cérébrale*, Editions Elsevier Masson, 1997, 317p, ISBN 9782294017278, p124
[21] REVOL F, *Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités*, Rééducation orthophonique, 1998, n°193, p11-22
[22] GADBOIS J-P, Les dystonies et troubles du mouvement
[23] REVOL F, *Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités*, Rééducation orthophonique, 1998, n°193, p11-22

de membre dans une posture extrême »[24]. Elle concerne plutôt les mouvements volontaires spécifiques et est donc plus prévisible.

La forme athétosique représente 20% des atteintes motrices.

c. L'ataxie

L'ataxie est « une incoordination des mouvements volontaires avec une conservation de la force musculaire »[25].

Ce trouble de la coordination entrave l'exécution du mouvement ou l'équilibre des contractions nécessaires au maintien postural. La commande musculaire est cependant préservée. La perception du corps dans l'espace est défectueuse, rendant difficiles les ajustements des mouvements soit pour maintenir une posture soit pour effectuer un geste volontaire[26].

La lésion est dite cérébelleuse car elle atteint le cervelet ou les voies nerveuses en relation avec celui-ci.

L'ataxie représente 10% des atteintes motrices.

d. Les formes mixtes

Les différentes formes décrites ci-dessus peuvent coexister chez un même individu.

4.1.2. Classification topologique

La paralysie cérébrale entrave le fonctionnement moteur d'un ou plusieurs membres, supérieurs et/ou inférieurs.

La **monoplégie** atteint un seul membre, le bras plus fréquemment que la jambe. Cette topographie est rare dans la PC et est le plus souvent acquise.

L'**hémiplégie** est assez fréquente. Elle touche les 2 membres d'un même hémicorps et prédomine souvent au membre supérieur. Cette atteinte peut s'étendre à la face. Lorsque la lésion n'est pas strictement limitée à un seul hémisphère, il peut exister un déficit controlatéral mais il est alors minime. L'hémiplégie représente 10% des déficits moteurs de la PC.

---

[24] AMIEL-TISON C, *L'infirmité motrice d'origine cérébrale*, Editions Elsevier Masson, 1997, 317p, ISBN 9782294017278, p124
[25] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[26] REVOL F, *Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités*, Rééducation orthophonique, 1998, n°193, p 17

La **paraplégie** ou **diplégie** est une atteinte des deux membres inférieurs dans leur action motrice et posturale. Un cas particulier est la diplégie spastique ou maladie de Little : tout le corps est atteint, les membres inférieurs étant plus touchés que les membres supérieurs.

La **triplégie** est une atteinte de tout le corps, prédominant aux deux membres inférieurs et à un membre supérieur.

La **tétraplégie** ou **quadriplégie** touche les quatre membres et tout le corps. Ce trouble massif provoque une insuffisance posturale du tronc et une faiblesse du contrôle de la tête. Les membres sont souvent raides.

La localisation de l'atteinte n'est pas un indicateur suffisant pour présumer de l'intensité du handicap fonctionnel : certains tétraplégiques vont pouvoir marcher, d'autres diplégiques vont rester en fauteuil roulant.

Dans le cadre d'une lésion acquise tardivement, la distinction plégie/parésie oppose la paralysie totale à la paralysie partielle, alors qu'une seule terminologie (plégie) est le plus souvent utilisée dans le cadre de la PC[27].

4.1.3. Classification fonctionnelle

Depuis 1997, le **GMFCS** (Gross Motor Function Classification System) classe la sévérité des atteintes fonctionnelles chez les enfants atteints d'une PC. Cet outil se base sur la motricité globale de l'enfant en fonction de son âge. La dernière révision de cette classification date de 2007 avec l'ajout d'une nouvelle classe d'âge.

Le but du GMFCS est de « déterminer quel est le niveau décrivant le mieux les capacités et les restrictions fonctionnelles globales de l'enfant ou de l'adolescent. L'accent est porté sur les performances habituelles observées à domicile, à l'école ou en collectivité (ce que font réellement les enfants et les adolescents) et non pas ce qu'on leur prête en terme de capacité au meilleur de leur forme. Il est cependant important de classer les performances habituelles de motricité globale et ne pas y inclure l'appréciation subjective qu'on peut avoir de la qualité du mouvement ou des hypothèses d'amélioration fonctionnelle »[28].

Les éléments analysés sont : la station assise, les transferts et la mobilité dans les activités de tous les jours. Cinq niveaux sont élaborés et pour chacun d'eux, le trouble est décrit en fonction de l'âge de l'enfant : avant 2 ans, entre 2 et 4 ans, entre 6 et 12 ans et depuis la révision de 2007 entre 12 et 18 ans.

[27] DOUTRE L, *Nourrissons atteints de paralysie cérébrale*, 2012, Mémoire psychomotricité, Univ Paul Sabatier Toulouse
[28] PALISANO R, ROSENBAUM P, BARTLETT D, LIVINGSTON M, *Le système de classification de la fonction motrice globale*, Rapport GMFCS, 2007

Les rubriques générales pour chaque niveau sont les suivantes :

Niveau I	Marche sans restriction de mouvements.
Niveau II	Marche avec restriction de mouvements.
Niveau III	Marche avec aide technique à la marche.
Niveau IV	Mobilité autonome avec restriction des mouvements ; peut utiliser une aide motorisée.
Niveau V	Déplacement en fauteuil roulant manuel, poussé par un adulte.

4.2. Les troubles associés

Les troubles associés sont directement liés à la lésion cérébrale et s'ajoutent au déficit moteur. Ils dépendent de la localisation et de l'étendue de la ou des lésions.

Actuellement, les images radiologiques (scanner, IRM) sont une aide au diagnostic des déficits associés. Des études démontrent que les images de leucomalacie périventriculaire avec dilatation ventriculaire en région pariéto-occipitale font craindre des anomalies dans le développement neurovisuel, agnosie visuelle, dyspraxie et troubles de l'élaboration des relations spatiales. Les lésions cérébelleuses joueraient un rôle dans les processus d'attention. Des atteintes antérieures laissent présager des troubles de l'attention et/ou de la planification.

Les images de l'IRM peuvent aider à prévoir l'existence d'une pathologie mais ne permettent pas de juger l'intensité du trouble ni la sensibilité à la rééducation[29]. Les conclusions doivent être posées avec prudence car l'imagerie ne permet pas d'établir un pronostic quant à l'évolution de l'enfant. La motivation, la stimulation de l'environnement, la plasticité cérébrale, la mise en place de faisceaux de connexions neuronales vont jouer un rôle fondamental de réparation[30].

4.2.1. Les troubles organiques

a. La comitialité

Plus d'un tiers des enfants paralysés cérébraux souffrent d'épilepsie à des degrés divers : grand-mal, crises partielles ou absences. Les traitements préventifs, dont le but est de stabiliser la comitialité, ont parfois des effets secondaires sur les fonctions supérieures, notamment sur les capacités mnésiques et attentionnelles.

[29] LACERT P, D'HEILLY N, MAUDUYT de la GREVE I, *Troubles optomoteurs de l'ancien prématuré*, Motricité Cérébrale, n°21, 2000, p 41-50
[30] TRUSCELLI D, *Pathologies cérébrales : troubles associés aux infirmités*, Motricité Cérébrale, n° 29, 2008, p 15-22

L'épilepsie est souvent liée à une prématurité. En effet on la retrouve chez 4% des grands prématurés nés avant 33 SA[31].

b. Les troubles perceptifs

Les atteintes des voies perceptives peuvent altérer un ou plusieurs sens et donc engendrer des troubles auditifs, visuels, olfactifs, somesthésiques ou gustatifs.

c. Les troubles respiratoires

Les capacités respiratoires de l'enfant cérébrolésé sont souvent réduites. L'activité respiratoire est une alternance de contractions et relâchements des muscles respiratoires, en particulier du diaphragme. Une incoordination de l'activité musculaire engendre des troubles pneumo-phoniques. La prise d'air va être haute (non abdominale), saccadée et insuffisante.

De plus, le risque d'infection bronchique ou de pneumopathie est important par manque de soutien musculaire nécessaire à la toux en cas de fausse-route alimentaire.

4.2.2. Les troubles des fonctions cognitives

La sévérité des troubles cognitifs n'est pas corrélée avec celle du handicap moteur. La neuropsychologie est d'une grande aide pour attribuer la part des troubles relative aux atteintes de la motricité et celle relative au déficit des fonctions supérieures[32].

a. Les troubles gnosiques

Le dictionnaire d'orthophonie définit une gnosie comme « une faculté permettant de reconnaître, par l'un des sens, un objet, de se le représenter, d'en saisir l'utilité ou la signification. Il s'agit en fait pour le cerveau d'intégrer avec cohérence les stimuli qui lui parviennent et d'en décoder la signification. Toute gnosie est donc acquise puisqu'elle est le fruit d'une expérience qui stimule les neurones concernés »[33].

Dans le domaine visuel, le trouble gnosique peut entraver la reconnaissance des images (cette altération concerne 10% des PC), des couleurs ou encore des visages (prosopagnosie). Les agnosies visuelles consistent en une difficulté spécifique à décoder, interpréter, donner sens, reconnaître certains stimuli

[31] Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, Rapport INSERM 2004, p 46
[32] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p 72
[33] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004

visuels[34]. Lorsque la lésion cérébrale est située dans le lobe occipital ou dans la zone pariéto-occipitale, l'information visuelle est correctement véhiculée jusqu'aux aires associatives postérieures. C'est le traitement cérébral de cette information qui est défectueux. Cliniquement, l'agnosie visuelle est caractérisée par un défaut d'identification du stimulus, uniquement si la présentation est visuelle, sans que la vision ou la cognition ne soient mises en cause[35].

Un trouble gnosique de l'audition est parfois présent. Il va avoir un impact sur le traitement des sons du langage (agnosie auditivo-verbale), ou de la musique (amusie).

La détection d'un tel trouble gnosique nécessite une exploration volontariste, une observation de l'enfant ne suffisant pas. Or, l'impact sur la perception de l'environnement de l'enfant ainsi que sur ses apprentissages est très important.

b. Les troubles praxiques

Les dyspraxies touchent les fonctions de planification et de préprogrammation des gestes volontaires. Ces troubles cognitifs graves sont à différencier des troubles moteurs, handicap visible. « Il s'agit d'un trouble de la réalisation du geste, secondaire à l'impossibilité (ou l'anomalie) de programmer automatiquement et d'intégrer au niveau cérébral les divers constituants sensori-moteurs et spatiaux-temporels du geste volontaire »[36].

La dyspraxie constructive impacte les activités d'assemblage d'éléments telles que les jeux de construction, le dessin et le prégraphisme, puis l'écriture.

Les dyspraxies idéatoires et idéomotrices concernent « les gestes dans lesquels les éléments de succession chronologique des diverses étapes de la réalisation sont au premier plan : c'est un trouble de la successivité et de la séquentialité des constituants du geste ». Tandis que la dyspraxie idéatoire va entraver la manipulation d'objet et d'outils en vue de leur utilisation, la dyspraxie idéomotrice concernera les gestes symboliques et les mimes. Les difficultés de l'enfant résident dans diverses activités quotidiennes, en particulier lors des repas ou de l'habillage (dyspraxie de l'habillage), et vont se traduire par une lenteur et des maladresses[37].

[34] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, Rééducation orthophonique, 1998, n°193, p 41
[35] MAZEAU M, MEURANT A, LE LOSTEC C, JOUY M-O, Les troubles de la reconnaissance des images chez l'IMC, *Motricité cérébrale*, 2004, n°25, p31-45
[36] MAZEAU M, *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxie de l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation*, Paris, Masson, 1995, 166p, ISBN 2-225-85008-9, p67
[37] MAZEAU M, *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxie de l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation*, Paris, Masson, 1995, 166p, ISBN 2-225-85008-9, p85

La dyspraxie visuo-spatiale associe trouble du regard et dyspraxie constructive. Les perturbations résident en particulier dans les apprentissages scolaires tels que l'écriture, la lecture, l'arithmétique et la géométrie qui requièrent un traitement visuel de qualité et une coordination dans l'exécution gestuelle.

La dyspraxie bucco-linguo-faciale est fréquemment rencontrée chez les sujets paralysés cérébraux. Elle atteint « l'exécution volontaire des mouvements de la bouche et de la langue, avec impossibilité de réaliser sur commande volontaire un mouvement de déglutition ou une praxie ». Toutefois, le geste automatique comme le sourire spontané peut être bien réalisé[38].

c. Les troubles mnésiques et attentionnels

L'attention est mise en jeu dans toute activité consciente et dirigée du cerveau. Les affections cérébrales sévères provoquent une réduction de l'empan normal d'attention. Les troubles attentionnels sont plus fréquents chez les sujets paralysés cérébraux que dans la population tout-venante.

Dans le cadre de la PC, Michèle Mazeau met en évidence un déficit de la mémoire déclarative ainsi que de la mémoire de travail. La mémoire déclarative ou épisodique relève de la mémoire à long terme et concerne les événements de la vie quotidienne[39]. Elle est analysée à partir des connaissances que le sujet peut consciemment évoquer et verbaliser. Ce trouble concernerait 10 à 12% des enfants cérébrolésés. La mémoire de travail, qui correspond à la fonction de traitement des informations à l'intérieur de la mémoire à court terme, permet de mettre en relation en temps réel les éléments en cours de traitement avec les structures de connaissance antérieure. Elle est souvent perturbée chez les sujets paralysés cérébraux[40].

4.2.3. Les troubles neurovisuels

Du fait de l'anatomie du système visuel, les troubles de la vision peuvent résulter soit d'une atteinte de l'œil et sont dits troubles « ophtalmologiques », ou bien résulter d'une atteinte cérébrale (ou centrale) et sont alors décrits sous le terme de troubles neurovisuels.

Près d'un tiers de notre cerveau est impliqué dans la perception visuelle. De ce fait, on estime que 60% des patients (enfants ou adultes) atteints d'une lésion cérébrale souffrent d'un trouble de l'analyse visuelle, ou trouble neurovisuel.

Ces troubles font l'objet d'une étude détaillée dans la seconde partie.

---

[38] CROUAIL A, MARECHAL F, *Prise en charge globale de l'enfant cérébro-lésé : troubles moteurs, cognitifs et psychiques*, Paris, Masson, 2006, 170p, ISBN 2-294-02085-5, p26
[39] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[40] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p 73

4.3. Les troubles secondaires

Les troubles secondaires sont la conséquence de troubles déjà existants.

4.3.1. La fatigabilité

Les mouvements involontaires, les contractions musculaires irrépressibles ou encore l'incoordination des mouvements qui parasitent le déroulement de l'activité motrice volontaire provoquent une fatigue très importante, d'autant plus que cette activité motrice peut être présente au repos.

Il est important de tenir compte de la fatigabilité des enfants paralysés cérébraux dans les activités d'évaluation et de rééducation.

4.3.2. Les troubles psychoaffectifs

Les troubles psychoaffectifs des enfants paralysés cérébraux concernent divers domaines tels que les troubles du schéma corporel, les troubles de l'image du corps et les troubles psychologiques.

L'enfant acquiert la connaissance du schéma corporel à travers les expériences vécues avec son corps. Le handicap moteur constitue un frein au développement harmonieux de cette connaissance. Entravé dans ses mouvements, l'enfant éprouve des difficultés à distinguer et identifier les différentes parties de son corps ainsi que leurs fonctions. Le trouble du schéma corporel correspond à « une élaboration mal structurée de la connaissance et de l'utilisation du corps propre, qui dépend étroitement des expériences que l'enfant peut, ou ne peut faire, au cours de sa vie de relation »[41].

L'image même du corps et sa représentation peuvent être altérées. Selon l'atteinte motrice, une partie du corps peut être rejetée, abîmée ou dévalorisée.

Psychologiquement, l'enfant peut souffrir d'une instabilité émotionnelle. D'après E. Gérard, sa personnalité peut en être affectée et se construire sur « un mode privilégié de type dépressif »[42]. Des lésions frontales seraient responsables d'une hyperémotivité.

De façon générale, il faut tenir compte du développement psychologique de l'enfant dans sa globalité. L'enfant paralysé cérébral n'a pas pu construire des échanges avec son entourage de façon classique. Ainsi, ce handicap moteur va entraver la relation avec ses parents. En effet, cet enfant n'est pas conforme à

[41] CROUAIL A, MARECHAL F, *Prise en charge globale de l'enfant cérébro-lésé : troubles moteurs, cognitifs et psychiques*, Paris, Masson, 2006, 170p, ISBN 2-294-02085-5, p26
[42] GERARD E, *Etre infirme moteur cérébral, Les représentations de soi*, Toulouse, Ed Privat, 1991

l'enfant imaginaire et il renvoie aux parents une image déformée dans laquelle ils ont du mal à se reconnaître. En ce qui concerne la fratrie, une agressivité peut naître (sans toujours s'exprimer) vis-à-vis de cet enfant différent à qui les parents consacrent leur temps et leur énergie, le système familial étant organisé autour du handicap. Enfin, dans son environnement social, le handicap moteur de l'enfant peut faire peur car il est souvent assimilé à une déficience mentale. L'impact sur la communication entraîne une construction non standard de la personnalité.

Les diverses atteintes motrices, la multiplicité des troubles associés et secondaires, les différents degrés d'intensité des déficits, engendrent des tableaux cliniques très variés.

5. La parole

L'émission de la parole nécessite une utilisation harmonieuse de l'appareil vocal : des muscles expiratoires, du larynx et des cordes vocales, des cavités de résonance (pharynx et cavité buccale) et des organes de l'articulation (lèvres, langue, voile du palais, maxillaire inférieur, joues).

Une coordination fine et une mobilisation précise de ces structures sont nécessaires à l'intelligibilité de la parole.

En 1984, Tardieu établit une grille d'évaluation fonctionnelle de l'intelligibilité de la parole qui comporte cinq stades :

Stade 0	Absence totale de trouble. L'articulation peut être légèrement altérée sans entraver l'intelligibilité du sujet qui est parfaitement compris.
Stade I	Les troubles sont imperceptibles par l'entourage, seulement décelés lors des épreuves orthophoniques
Stade II	Les troubles sont évidents mais n'empêchent pas une intelligibilité complète.
Stade III	Seuls les proches comprennent l'enfant.
Stade IV	La parole est absente ou totalement inintelligible

Au niveau cérébral, le système nerveux central permet la programmation, l'initiation et l'exécution des gestes articulatoires, alors que les noyaux gris centraux et le système cérébelleux contrôlent le mouvement.

Chaque structure de la production de la parole peut être atteinte et provoquer des difficultés de phonation et/ou d'articulation. Ces troubles concernent 20 à 30% des sujets atteints de paralysie cérébrale.

5.1. Les troubles de la phonation

a. La respiration

Nous l'avons vu précédemment, l'enfant paralysé cérébral présente une incoordination pneumo-phonique provoquée par ses troubles moteurs. Son amplitude respiratoire est moindre et son inspiration insuffisante. Son souffle expiratoire est affaibli, saccadé et irrégulier, à cause des contractions musculaires parasites qui rendent anarchique le rythme ventilatoire. Les difficultés sont majorées par le manque de maintien postural. Ces capacités respiratoires réduites vont avoir des répercussions sur l'émission vocale.

b. La voix

L'émission vocale est altérée dans ses quatre paramètres : durée, intensité, timbre et hauteur. La durée de sonorisation est réduite du fait de la faiblesse d'amplitude du souffle expiratoire. L'intensité vocale est généralement insuffisante et peu variable volontairement. Le timbre est souvent nasonné car l'alternance rapide d'un phonème oral à nasal nécessite une mobilité vélaire rapide (contraction et relâchement des muscles abaisseurs et releveurs du voile). On observe parfois une alternance d'un nasonnement avec un assourdissement ou une sonorisation de certains phonèmes dus à la lenteur des mouvements. La voix peut aussi être rauque dans le cas de spasmes laryngés. La hauteur est peu modulée, l'émotivité peu provoquer une variation vers les aigus.

5.2. Les troubles de l'articulation

Le dictionnaire d'orthophonie définit l'articulation comme « le mouvement combiné des organes buccophonateurs nécessaires à la réalisation des phonèmes intégrés dans la chaîne parlée »[43].

Les difficultés motrices entravent le contrôle labial, lingual, vélaire et du plancher buccal. Les lenteurs d'installation ou de relâchement des contractions sont responsables d'une discordance entre les bonnes capacités de production isolée de chaque phonème et les nombreuses déformations lors des enchaînements[44].

Ces troubles se traduisent par des omissions, des substitutions, des distorsions lors de l'enchaînement des phonèmes. C. Chevrie-Muller précise que, dans le cadre de la PC, « les troubles moteurs dans les activités

[43] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[44] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p 89

phonétiques créent un retard de parole ou la persistance d'émissions élémentaires hors norme : on est loin des anomalies passagères du jeune enfant immature »[45].

Les conséquences vont varier selon l'amplitude de l'atteinte motrice.

5.3. Les dysarthries

La dysarthrie est « un ensemble de troubles de l'articulation résultant d'une atteinte du système nerveux central ou périphérique ou d'une ataxie des muscles de la phonation. […] La respiration, l'articulation, la phonation, le débit et/ou la prosodie peuvent être affectés »[46].

Les dysarthries sont des troubles secondaires aux troubles moteurs et incluent non seulement les troubles de l'articulation, mais aussi les troubles vocaux et les troubles du débit[47].

20 à 30% des sujets atteints de paralysie cérébrale présentent une dysarthrie. On distingue trois groupes :

- la **dysarthrie paralytique** est un trouble de la commande motrice qui s'accompagne de troubles du tonus (hypo/hyper/dystonie) avec paralysies. La parole est déformée par des simplifications, des omissions, des élisions mais aussi une indifférenciation phonémique, des assourdissements, une articulation molle et imprécise. Les déformations sont constantes, invariables et prédictibles, ce qui permet au sujet d'être parfois compris de ses proches.

- la **dysarthrie athétosique**, qui se rapproche de la dysarthrie parkinsonienne, est secondaire à des lésions des noyaux gris centraux. Des mouvements anormaux se produisent au niveau de la sphère orale et peuvent s'étendre, lors de l'émission de la parole, aux muscles de la tête, de la face et du cou. Cette forme concerne en particulier les sujets athétosiques ou dystoniques.

- la **dysarthrie cérébelleuse** provoque un trouble du contrôle et de la régulation des contractions musculaires. Le souffle irrégulier et mal coordonné entraîne une parole scandée, saccadée et explosive.

Dans le cadre de la PC, les dysarthries sont le plus souvent mixtes chez un même sujet. L'intelligibilité peut être lourdement entravée, ce qui ajoute un handicap social important.

[45] CHEVRIE-MULLER C, NARBONA, *Le langage de l'enfant : aspects normaux et pathologiques*, Paris, Masson, 1999, 451p, ISBN 2-225-83752-X, p245
[46] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[47] RONDAL J, SERON X, *Troubles du langage. Bases théoriques, diagnostic et rééducation*, Sprimont, Mardage, 2000, 840p, ISBN 2-87009-720-4, p708

6. Le langage

En 1972, M Chevrie-Muller estimait que 50 à 80% des enfants IMC présentaient des troubles du langage. Les différences de pourcentages sont dues à l'hétérogénéité du niveau intellectuel et de la sévérité du déficit moteur de la population étudiée.

D'après la théorie motrice de la perception de la parole de Liberman et Matinngly (1985), les troubles dysarthriques compromettent les capacités de discrimination phonologique et donc l'acquisition des habiletés métaphonologiques. Or, certains enfants paralysés cérébraux présentent une dysarthrie discrète et pourtant le développement de leurs compétences en langage oral et écrit est laborieux, voire absent.

Pendant longtemps, les difficultés de parole dues aux troubles moteurs de la sphère bucco-linguo faciale ont masqué les troubles du langage. Or, derrière une dysarthrie, on peut découvrir une dysphasie sous-jacente.

Le courant neuropsychologique apporte un éclairage sur les troubles du langage de l'enfant paralysé cérébral en axant l'évaluation sur les fonctions cognitives et le fonctionnement atypique de ces enfants. « Du point de vue neuropsychologique, le suffixe dys- sous entend une anomalie neurodéveloppementale liée à une anomalie structurelle focalisée alors que dans les années 80, la présence de troubles neurologiques (de lésions) excluait les IMC de la pathologie dys- »[48] .

Désormais, la dysphasie désigne « tout désordre langagier en lien avec un dysfonctionnement, secondaire à une lésion ou non, des structures cérébrales spécifiquement mises en jeu lors du traitement de l'information langagière »[49].

M Mazeau utilise le terme de « dysphasie lésionnelle » qui permet de considérer la lésion neurologique précoce comme l'étiologie des troubles du langage.

Chez l'enfant cérébro-lésé, on retrouve plus fréquemment des dysphasies mixtes (réceptives et expressives) et phonologico-syntaxiques. Des déficits de la conscience phonologique et/ou de la mémoire de travail auditivo-verbale ont été mis en évidence.

Le langage peut être impacté dans son versant lexical, morphosyntaxique (grammaire et syntaxe), sémantique et pragmatique (fonction sociale du langage)[50].

[48] TRUSCELLI D, DE BARBOT F, MAZEAU M, THUILLEUX G, et Al, Les infirmités motrices cérébrales : Réflexions et perspectives sur la prise en charge, Paris, Masson, 2008, 473p, ISBN 978-2-294-61193-3, p345

[49] MAZEAU M, Dysphasies, troubles mnésiques, syndrome frontal chez l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation, Paris, Masson, 1997, 248p, ISBN 2-225-85548-X

[50] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p 79

La pragmatique « s'intéresse à ce qui se passe lorsqu'on emploie le langage pour communiquer […]. Elle tente de décrire l'ensemble des paramètres linguistiques et extralinguistiques qui influent sur le phénomène de l'énonciation, qui modifient la façon dont l'énoncé est transmis […], elle étudie dans quelle mesure ces phénomènes interviennent »[51]. La pragmatique est la relation qui existe entre un énoncé et sa fonction sociale. Les interlocuteurs communiquent afin de transmettre des informations en tenant compte des connaissances communes ou présupposées partagées. La pathologie de la pragmatique de la langue est très fréquente chez les sujets paralysés cérébraux[52].

Lorsque le déficit langagier se manifeste dans un tableau de déficience intellectuelle, M MAZEAU parle alors de « dysphasie relative ».

Le diagnostic de dysphasie peut être posé dans le cadre d'une paralysie cérébrale et peut coexister avec un trouble moteur et un trouble cognitif.

7. La communication

Parallèlement aux troubles de la parole et du langage, certains enfants cérébro-lésés présentent un trouble de la communication.

Nous l'avons vu précédemment, la présence de troubles moteurs au niveau de la sphère BLF est un frein à la communication. Dans les cas extrêmes, la dysarthrie rend impossible toute production langagière. Le sujet est alors qualifié de non-verbal. Il convient alors de proposer des moyens de communication alternative et augmentée (CAA) ou communication améliorée. La CAA regroupe l'ensemble des formes de communication proposées au patient qui ne possède aucune parole ou dont l'expression est inintelligible, le dictionnaire d'orthophonie ajoute « ou bien encore dont les troubles spécifiques sont si importants qu'ils l'empêchent d'atteindre un niveau efficace de communication ». Pour E. Cataix-Nègre, la CAA « recouvre tous moyens humains et matériels permettant de communiquer autrement ou mieux qu'avec les moyens habituels et naturels si ces derniers sont altérés ou absents, elle vient compenser ou remplacer un manque ou une grande déficience de parole, un défaut de langage impactant la communication pour la faciliter sur les deux versants expressif et réceptif »[53].

[51] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[52] REVOL F, Infirmités motrices d'origine cérébrale – Généralités, *Rééducation orthophonique*, 1998, n°193, p 79
[53] CATAIX-NEGRE E, *Communiquer autrement, accompagner les personnes avec des troubles de la parole ou du langage : les communications alternatives*, Paris, Solal, 2011, 282p, ISBN 978-2-35327-107-8, p36

Les outils utilisés en CAA sont les codes gestuels (inspirés de la LSF), les codes alphabétiques, les codes pictographiques et iconographiques sous forme de tableaux ou cahiers de communication, les synthèses vocales proposant des lettres, des mots ou des pictogrammes et les outils informatiques[54].

Certaines conditions, telles que l'envie et l'intention de communiquer, sont nécessaires à l'utilisation d'une aide à la communication. En effet, le patient doit manifester une appétence à la communication, un désir de partager, de transmettre. Lorsque les troubles psychologiques ou comportementaux sont trop envahissants, le recours à cet outil peut s'avérer impossible. De plus, l'enfant doit avoir accès à la symbolisation et à l'abstraction car il s'agit de traduire un objet ou une situation par une image symbolique et unique (pictogramme) ou par un geste. L'enfant doit aussi avoir une capacité à désigner les représentations. L'étayage de l'adulte, de l'entourage, va permettre une utilisation efficace de l'outil par l'enfant. Certaines familles sont réticentes à la mise en place d'un système de communication alternative car l'enfant se fait comprendre au sein de la sphère familiale. La communication globale de l'enfant est correcte mais une communication plus précise, plus élaborée, peut être entravée par le trouble de langage oral. Une utilisation d'un langage autre qu'oral signe la reconnaissance d'un manque définitif et le caractère non verbal. Or, cet outil est un support de la construction de la pensée. Pour que la pensée se développe, il lui faut un support : le raisonnement se construit par les mots.

Il est important de noter que le caractère non verbal d'un enfant n'est pas corrélé à ses capacités de communication. Certains enfants sans communication orale sont bien meilleurs communicants que ceux qualifiés de verbaux.

[54] LAMOUR M, *Quel cheminement vers le langage ? Quatre enfants IMC/IMOC non verbaux découvrent leur outil de communication*, Mémoire Nice, 2012

II. Les troubles neurovisuels chez l'enfant cérébrolésé

« Les fonctions neurovisuelles sont multiples, complexes et, comme toutes les fonctions cognitives, à la fois modulaires, donc isolables, et étroitement interdépendantes non seulement entre elles mais aussi de l'ensemble des autres fonctions mentales (mémoire, langage, fonctions sensori-motrices et praxiques) »[55].

Les voies visuelles sont réparties dans l'ensemble du tissu cérébral. Des lésions ou dysfonctionnement à un niveau ou à un autre de ces voies sont donc fréquentes dans le cadre de la PC.

1. La neurovision

La perception visuelle a trois finalités principales : la détection, l'indentification du stimulus et l'action sur ce stimulus.

Quelle que soit la finalité, le traitement de l'information visuo-spatiale débute par la détection et la sélection du stimulus dans l'environnement. Puis une représentation conjointe du stimulus et de l'environnement est établie pour situer le stimulus dans son environnement. Parallèlement, une représentation de l'action motrice désirée est mise en place. Elle s'appuie sur la perception, l'attention, mais aussi sur l'intention de l'individu. Enfin, la représentation du stimulus est, d'une part, corrélée avec les connaissances sémantiques en stock afin de permettre sa reconnaissance et, d'autre part, mise en relation avec la représentation motrice pour la planification motrice : programmation, exécution et ajustement du mouvement par rétrocontrôle. C'est la coordination visuo-motrice[56].

1.1. Le fonctionnement perceptif

En psychologie cognitive, la perception sensorielle est définie comme la réaction du sujet à une stimulation extérieure qui se manifeste par des phénomènes chimiques, neurologiques, au niveau des organes des sens et au niveau du système nerveux central[57].

Les perceptions visuelles, auditives, olfactives, tactiles et gustatives fonctionnent en une boucle où se combinent **réception et décodage** de l'information par les **voies afférentes**, et **action** par les **voies efférentes**.

---

[55] MAZEAU M, *Neuropsychologie et troubles des apprentissages, du symptôme à la rééducation*, Paris, Masson, 2005, 286p, ISBN 2294019296

[56] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 2353270999, p250

[57] Wikipédia - Perception sensorielle

Concernant la perception visuelle, ces deux voies corticales sont mises en jeu et permettent le traitement des différents aspects de la scène visuelle.

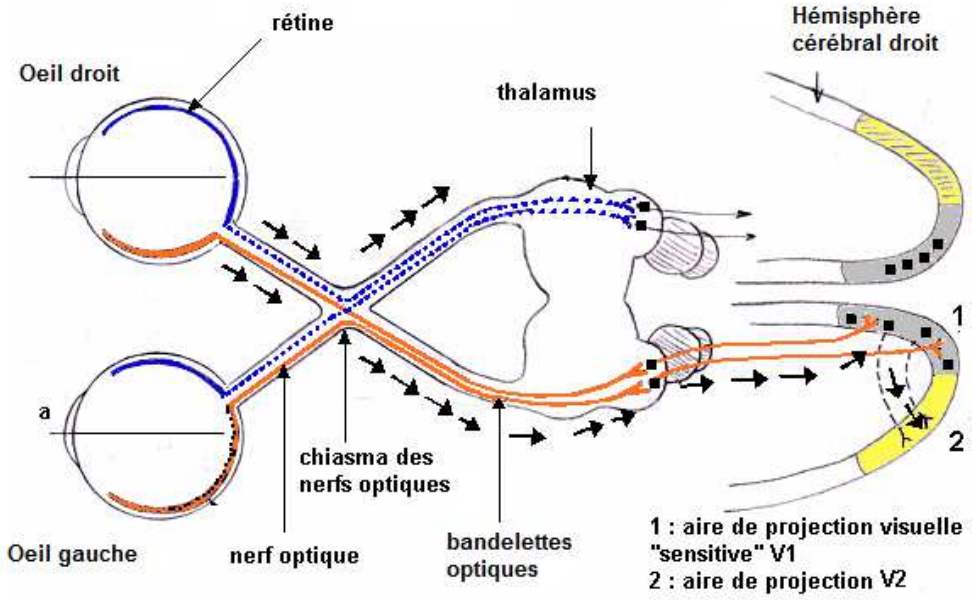
Les **voies visuelles efférentes** sont des voies practo-motrices ou voies de l'action. Elles permettent, à partir d'une intention, d'une attente ou d'une situation donnée, de mettre en œuvre des stratégies de recherche visuelle : poursuite, fixation, exploration, mouvements de tête, du tronc voire de l'ensemble du corps. Ces voies permettent d'aller voir, de chercher l'information cible et de positionner le regard. Ces voies sont aussi appelées « voies du regard ».

Les **voies visuelles afférentes** appelées sensori-gnosiques, permettent le décodage de l'information et la reconnaissance de ce qui est vu. C'est le cortex qui va permettre, par un traitement approprié, de donner sens à ce qui a été regardé. Le sujet prend alors conscience de « voir ». On les appelle aussi « voies de la vision ».[58]

La voie du **regard** permettant d' « aller voir » et celle de la **vision** permettant de « voir » forment donc un circuit dont le bon fonctionnement est indispensable à la plupart des activités de la vie quotidienne comme se déplacer, lire, manger, jouer …

1.2. Les voies optiques intra-crâniennes et les aires visuelles cérébrales

1.2.1. De la rétine aux lobes occipitaux



[58] CAREL C, *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire Lille, 2006

a. Les voies anté-chiasmatiques

L'image est projetée sur la rétine de chaque globe oculaire. Chaque rétine est divisée en deux hémirétines, une nasale interne et une temporale externe. Les fibres des rétines nasales subissent une décussation, une division, au niveau du chiasma, lieu de rencontre des deux nerfs optiques qui se croisent pour se diriger vers le lobe occipital. Les images perçues par les rétines nasales seront traitées par l'hémisphère controlatéral. Par exemple, l'image projetée sur la rétine nasale droite provient du champ visuel temporal droit et est traitée par l'hémisphère gauche, tandis que les informations issues de la rétine temporale cheminent vers l'hémisphère homolatéral.

b. Les voies rétro-chiasmatiques

- **Anatomie**

D'un point de vue anatomique, les voies visuelles postérieures, rétro-chiasmatiques, débutent au niveau du chiasma optique et s'étendent jusqu'au aires cérébrales associatives. Après le passage du chiasma optique, les informations visuelles circulent dans les bandelettes optiques qui projettent sur un noyau thalamique : le corps genouillé latéral. Ce n'est qu'après ce relais que les informations visuelles arrivent aux aires visuelles primaires (V1) situées au niveau du cortex occipital. Au delà de V1, l'information visuelle est plus sophistiquée. L'information atteint les aires associatives selon deux principales voies anatomiques : la voie dorsale, ou voie occipito-pariétale (« voie du où »), et la voie ventrale, ou voie occipito-temporale (« voie du quoi »)[59].

- **Rôle**

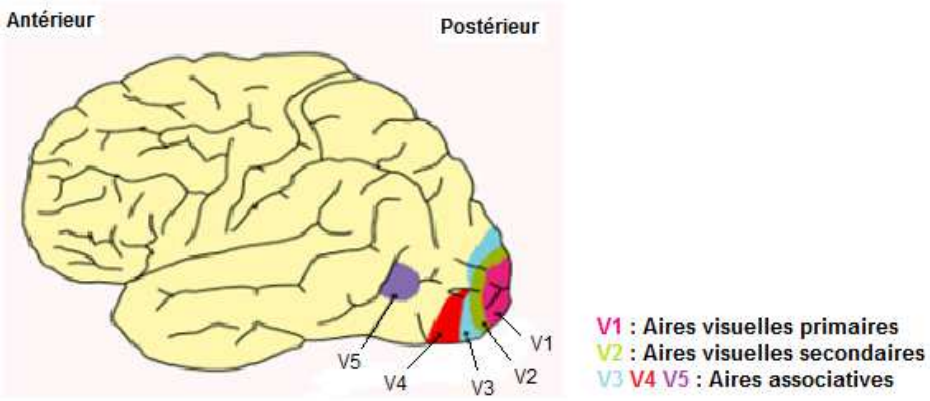
Les voies rétro-chiasmatiques se découpent en deux parties : dans une première partie, du chiasma optique au cortex visuel primaire (ou aires striées de V1) et dans une seconde partie, des aires visuelles secondaires (aires extra-striées, V2) aux aires associatives[60].

Il est important de noter que quelle que soit la localisation hémisphérique de la lésion rétro-chiasmatique, la répercussion neurovisuelle concernera les deux yeux. En effet, comme le montre le schéma précédent, les bandelettes optiques situées dans l'hémisphère gauche (en rouge) proviennent de l'œil droit et de l'œil gauche. Il en est de même pour l'hémisphère droit (en bleu).

[59] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250
[60] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250

1.2.2. Les aires visuelles

Le cortex visuel est divisé en plusieurs sous-régions qui ont pour fonction de traiter individuellement ou collectivement plusieurs types d'informations[61].



a. Aires visuelles primaires

Le cortex visuel primaire, appelé également V1, cortex strié ou aire 17 (selon la classification de Broadmann), est situé dans la partie postérieure des lobes occipitaux.

Quand l'information visuelle parvient dans le cortex visuel primaire, elle est traitée par plusieurs relais qui s'activent selon les propriétés du stimulus (orientation, mouvement, courbes …).

C'est le lieu de traitement primaire de l'information visuelle. L'information visuelle subit un traitement simple et sous-tend ce qu'on peut qualifier de « vision élémentaire » : fréquence spatiale (2D) et temporelle, orientation, couleurs[62].

b. Aires visuelles secondaires et associatives

L'aire visuelle secondaire, dite V2, est une bande corticale qui entoure V1. Cette aire est composée de bandes fines, sensibles à la couleur, et de bandes larges, impliquées dans le traitement directionnel du mouvement. Ces bandes sont séparées par des régions plus claires spécialisées dans l'analyse des formes. A ce stade, l'analyse des différentes propriétés du signal (couleur, forme et mouvement) est encore séparée.

[61] Aires visuelles
[62] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250

Les aires V3, V4 et V5, ou aires associatives, sont spécialisées dans le traitement spécifique des diverses propriétés du stimulus.

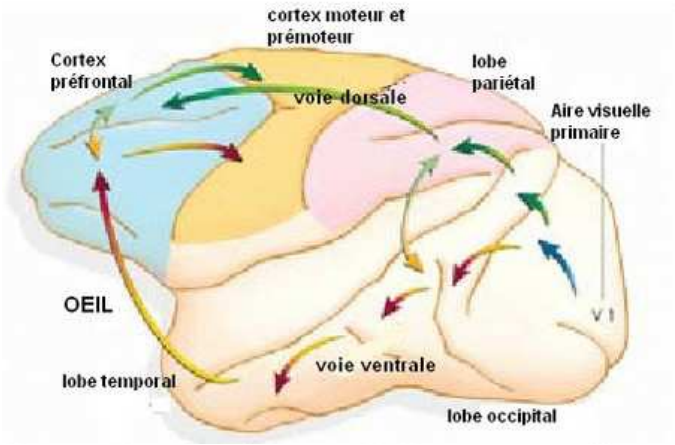
Ces aires secondaires et associatives permettent de finaliser l'image : c'est le décodage du sens au niveau gnosique[63].

Après V2, les informations sont séparées en deux voies corticales permettant la reconnaissance et l'action sur l'objet.

c. Organisation des voies corticales

A partir de ces aires occipitales, les informations sont séparées en deux voies corticales (ou systèmes d'aires spécialisées) qui traitent des aspects différents de la scène visuelle, bien que subissant des interactions entre elles[64].

Les aires visuelles sont organisées hiérarchiquement : la **voie dorsale ou « voie du où »** sous-tend les mécanismes permettant la localisation et l'action sur le stimulus visuel, et la **voie ventrale ou « voie du quoi »** sous-tend les mécanismes permettant l'identification du stimulus visuel[65].



Organisation des voies corticales[66]

[63] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[64] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[65] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250
[66] Organisation des voies corticales

- **La voie dorsale**

La voie du « où » (aussi appelée voie occipitopariétale, voie dorsale et voie du « where ») est la voie de l'analyse spatiale. Elle est essentielle pour la localisation des stimuli visuels et prend en charge le traitement des données spatiales et du mouvement, les forts contrastes, la coordination visuomotrice. Elle permet donc d'utiliser l'information visuelle pour contrôler les mouvements. C'est la voie qui est utilisée lorsque la tâche nécessite un « guidage » visuel par rapport aux objets.

Une lésion de cette voie, surtout bilatérale ou de l'hémisphère droit, semble impliquer un déficit de la perception des relations spatiales entre les objets et du comportement visuo-moteur, entraînant des tableaux d'agnosies spatiales isolées ou combinées à des troubles de négligence unilatérale ou périphérique et d'ataxie optique[67].

L'enfant montre alors des difficultés dans les tâches de localisation du stimulus visuel.

- **La voie ventrale**

La voie du « quoi » (parfois nommée voie occipito-temporale, voie ventrale et voie du « what ») est la voie de la reconnaissance. Elle est préférentiellement impliquée dans le traitement de l'identification des formes, textures, couleurs, objets, visages et des faibles contrastes. Elle participe à la représentation cognitive explicite de l'identité de l'objet et serait responsable de la vision consciente. C'est le siège du contrôle visuel précis du mouvement volontaire[68].

Une interruption de cette voie, par lésion bilatérale ou de l'hémisphère gauche, serait responsable des agnosies visuelles d'objets ou d'images[69].

L'objet n'est pas identifié lorsque sa présentation est visuelle alors qu'une autre afférence sensorielle permettra sa reconnaissance.

1.2.3. Les fonctions cognitives associées

L'information visuelle subit un traitement sophistiqué qui met en jeu les fonctions cognitives visuelles telles que l'exploration et l'attention visuelle, l'organisation et la représentation de l'espace, la reconnaissance visuelle, ou encore la coordination visuo-motrice[70].

[67] CAREL C, *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire Lille, 2006
[68] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[69] CAREL C, *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire Lille, 2006
[70] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250

a. Exploration et attention visuelle

Le cerveau est un système à capacité limitée, il ne peut traiter simultanément toutes les informations qui lui parviennent. Une sélection est faite par le système attentionnel. Cette capacité attentionnelle va permettre d'orienter l'observateur vers les informations pertinentes tout en diminuant la prégnance des informations les moins importantes.

Dans le domaine de la vision, les processus attentionnels permettant de filtrer, c'est-à-dire de sélectionner et de traiter en détails les informations pertinentes, sont regroupés sous le concept **d'attention sélective visuo-spatiale**. Ceci suppose que l'attention se déplace dans l'environnement par une exploration de la scène visuelle, le plus souvent par des mouvements oculaires, et que le regard et l'attention se fixent sur l'information pertinente[71].

Les capacités d'orientation et de fixation de l'attention et du regard sur les informations visuelles pertinentes sont un pré-requis nécessaire pour une analyse visuelle fine et adéquate.

b. Organisation et représentation de l'espace

La représentation visuo-spatiale est dépendante de l'imagerie mentale.

La perception visuelle directe permet de construire une image mentale de l'environnement de sorte que l'impression que nous avons du monde est celle d'un environnement stable et constant où toutes les informations sont présentes simultanément, alors même que les mouvements oculaires incessants (les saccades par exemple) fournissent une multitude d'informations.

Cette représentation visuo-spatiale permet la reconnaissance de l'environnement et l'action sur celui-ci. Un trouble à ce niveau laisse donc présager un déficit de la coordination visuo-manuelle.

c. Reconnaissance visuelle

Le traitement de l'information visuelle doit permettre l'identification du stimulus, c'est-à-dire donner une signification à ce qui est vu.

[71] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p252

Trois mécanismes sont primordiaux à la reconnaissance : l'attention visuo-spatiale, l'élaboration d'une représentation visuelle et l'association de cette représentation aux éléments sémantiques stockés en mémoire[72].

La reconnaissance des visages est l'un des processus de reconnaissance visuelle spécifique qui nécessite une analyse visuo-perceptive détaillée et aboutit à une représentation du visage. Un autre type est la reconnaissance du matériel orthographique, reconnaissance des mots, nécessaire à la lecture.

d. Coordination visuo-manuelle

Le traitement d'analyse visuelle permet à l'organisme d'agir sur ce qu'il voit. Un acte moteur peut être réalisé avec exactitude s'il y a, avant l'initiation du mouvement, une localisation du stimulus, une reconnaissance du stimulus dans son environnement et une représentation visuo-spatiale, mais aussi pendant l'acte moteur, un ajustement et un contrôle de ce mouvement par une coordination visuo-manuelle.

En effet, pendant le transport de la main vers son but, la direction du mouvement est en permanence comparée à la position de l'objet à atteindre, ce qui permet d'améliorer la précision du geste et d'ajuster le mouvement au but recherché[73].

1.3. Développement

Pendant la première année, l'instrumentation de la vision, de l'audition, de la proprioception, du tact, des perceptions vestibulaires et de la motricité se mettent en place. Les flux sensoriels et les comportements moteurs ainsi coordonnés vont permettre l'accès à une représentation corporelle, un espace de préhension unifié et un espace visuel. Puis la maturation de chaque système sensorimoteur va permettre l'utilisation isolée à des fins cognitives[74].

Des perturbations du développement moteur ou d'autres perceptions sensorielles peuvent avoir un retentissement sur l'évolution du développement de stratégies visuelles et du traitement cognitif de l'information perçue[75].

La perception visuelle s'appuie sur un organe, l'œil, et sur une série de stratégies oculomotrices développées au cours de la vie du sujet et nécessaires à l'analyse visuelle d'un objet, d'un mouvement ou

[72] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p253
[73] RODE G, ROSSETTI Y, BOISSON D, *Rôle de la vision dans la structuration du geste*, Motricité Cérébrale, n°18, 1997, p41-52
[74] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[75] http://www.troubleneurovisuel.com/

d'une situation. Une maturation physiologique de l'appareil visuel ainsi qu'un développement sensori-moteur du bébé conditionnent le développement de la perception visuelle[76].

1.3.1. Les fibres visuelles

D'un point de vue anatomique, le développement des fibres visuelles est très important au cours de la première année de vie et les structures ne sont matures qu'à partir de 7-8 ans voire 11-12 ans. En parallèle du développement de l'organe œil, le champ visuel s'agrandit progressivement pour devenir presque identique à celui de l'adulte vers 12 mois. Le réflexe de fixation est présent dans les premiers jours de vie alors que celui de poursuite oculaire n'apparaît qu'au cours du deuxième mois[77].

1.3.2. Les fonctions cognitives

Conjointement, les fonctions cognitives vont elles aussi se développer progressivement et de manière non homogène.

L'attention se développe jusqu'à l'adolescence mais à différents rythmes selon le type de mécanisme attentionnel considéré : l'attention soutenue (la vigilance) présente chez le bébé, est beaucoup plus efficiente à l'âge adulte, les déplacements attentionnels (d'un objet à l'autre) sont par contre aussi efficaces chez l'enfant que chez l'adulte.

Le développement des capacités de reconnaissance visuelle diffère selon la nature du stimulus à reconnaître : la reconnaissance des objets se construit parallèlement à l'acquisition du langage alors que celle des visages est présente dès la naissance[78].

L'expérience visuelle précoce est une condition au développement du système visuel et du comportement visuo-moteur de l'individu.

[76] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250
[77] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p254
[78] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p250

2. Les troubles neurovisuels

La vision peut être rendue déficitaire par une lésion périphérique, c'est-à-dire de l'œil (atteinte du globe oculaire, de la rétine ou des autres constituants de l'œil), ou par une lésion dite centrale, c'est-à-dire des voies visuelles ou aires visuelles cérébrales où seront décodées et interprétées les informations visuelles[79].

Les troubles neurovisuels entrent dans le cadre de lésions centrales.

2.1. Généralités

2.1.1. Définition

Du fait de l'anatomie du système visuel, les troubles de la vision peuvent résulter soit d'une atteinte anté-chiasmatique (de l'œil au chiasma optique) et sont dits troubles périphériques ou ophtalmologiques, ou bien résulter d'une atteinte rétro-chiasmatique, cérébrale, centrale, et sont alors décrits sous le terme de troubles neurovisuels[80].

L'ensemble des troubles neurovisuels résulte le plus souvent d'une atteinte des régions cérébrales postérieures (lobe occipital, régions occipito-pariétales ou occipito-temporales). Néanmoins, ces troubles se retrouvent aussi lors de lésions sous-corticales, en particulier thalamiques.

Les troubles neurovisuels correspondent aux altérations du champ visuel, du traitement de l'information visuelle et/ou de l'orientation de l'attention dans l'espace et font suite à une atteinte rétro-chiasmatique du système visuel, en général occipitale[81].

2.1.2. Etiologies

Les deux principales étiologies des troubles neurovisuels sont un épisode hypoxique périnatal (36% des enfants) et la naissance prématurée (moins de 33 SA, 30% des enfants). Leur nombre a d'ailleurs fortement augmenté au cours des dernières décennies du fait des progrès en néonatologie et en pédiatrie. Or, la principale atteinte cérébrale consécutive à ces deux étiologies est la leucomalacie périventriculaire (nécrose de la substance blanche) qui concerne souvent les cornes postérieures des ventricules latéraux, c'est-à-dire en regard des régions temporo-pariéto-occipitales[82]. La leucomalacie périventriculaire est très souvent

[79] CHOKRON S, *Troubles neurovisuels chez l'enfant : sémiologie et dépistage*, Revues générales ophtalmo-pédiatrie, n°188, Décembre 2011
[80] Site vision et cognition, fondation Rothschild
[81] CHOKRON S, *Troubles neurovisuels chez l'enfant : sémiologie et dépistage*, Revues générales ophtalmo-pédiatrie, n°188, Décembre 2011
[82] CAVEZIAN C, CHOKRON S, *Troubles neurovisuels et troubles des apprentissages*, Entretiens d'orthophonie 2010

associée à un trouble neurovisuel et/ou à une infimité motrice cérébrale par sa localisation dans les régions postérieures.

Urvoy & Al (1996) estiment que 60% des enfants cérébrolésés présentent un trouble neurovisuel. L'inverse n'est pas systématiquement observé. En effet, dans certains cas, l'imagerie ne détecte aucune lésion cérébrale malgré la présence d'un déficit neurovisuel.

2.2. Pathologies ophtalmologiques rencontrées

Bien que hors du champ des pathologies neurovisuelles, il est important de mentionner les pathologies ophtalmologiques, tout d'abord du fait de leur caractère très fréquent dans le cadre de la PC, et donc à prendre en compte lors de la rééducation orthophonique, et également du fait que le trouble ophtalmologique peut aussi être une conséquence d'un trouble neurovisuel, une adaptation mise en place par l'enfant, secondaire à une mauvaise stratégie du regard. En effet, les données de la littérature montrent que les enfants souffrant de troubles neurovisuels peuvent développer un nystagmus ou un strabisme (Salati & Al, 2002).

2.2.1. Le strabisme

Il correspond à un défaut de parallélisme des axes de fixation des deux yeux[83]. Il peut être convergent (déviation des yeux vers l'intérieur sur un axe horizontal) ou divergent et d'angle variable. Il empêche la mise en place de la vision binoculaire et donc la perception de la 3ème dimension. Sa fréquence est très élevée, jusqu'à 86% pour Salati & Al. Selon Urvoy & Al (1996), cette fréquence est plus élevée dans les cas de diplégie spastique et chez l'ancien prématuré.

Lanthony P. définit le strabisme comme un syndrome oculomoteur à deux composantes : une composante motrice dans laquelle l'œil dévié occupe une position anormale par rapport à l'œil dominant, ainsi l'axe visuel ne passe plus par le point de fixation ; une composante sensorielle, caractérisée par une altération de la vision binoculaire (c'est-à-dire de l'utilisation simultanée des deux yeux), le sujet compense alors ce phénomène par un strabisme[84].

Une étude de 2002 de MJ Aubrey, C Francis, M Francis et V Tsimba, fait état de 44 enfants strabiques sur les 65 enfants IMC étudiés. Sur les 44 strabiques, 11 sont divergents et 19 convergents alors qu'en population normale, on recense en moyenne 1 divergent seulement pour 5 convergents. Les 14 autres enfants présentent une incoordination oculaire, strabisme particulier à l'IMC, d'angle très variable et qui est

[83] JEANROT N, JEANROT F, *Manuel de strabologie : aspects cliniques et thérapeutiques*, Elsevier Masson, 2011, 248p, ISBN 2294711092
[84] LANTHONY P, *Dictionnaire du strabisme*, Maloine, 1983, 201p, ISBN 0828818134

décrit comme évoluant du convergent vers le divergent. Deux cas sont alors observés : soit un œil reste fixe et l'autre erre dans différentes positions, soit les deux yeux ne fixent pas véritablement et l'on observe soit une convergence, soit une divergence[85].

2.2.2. Le nystagmus

Le nystagmus est un « mouvement involontaire et rythmique des globes oculaires, possédant une phase rapide et une phase lente, intervenant au repos ou lors d'un mouvement »[86].

Les oscillations peuvent se produire dans un plan vertical, horizontal, de torsion ou dans une combinaison de ceux-ci. L'œil se dirige lentement vers une direction puis revient brutalement à sa position d'origine par une saccade oculaire.

Lorsqu'il est pathologique, un nystagmus peut résulter d'une perturbation de la coordination des muscles de l'œil ou apparaître lors de la récupération d'une cécité corticale. Il est fréquent dans les atteintes visuelles centrales (46% selon Salati & Al). On le rencontre dans la PC accompagnant un strabisme précoce[87].

2.3. Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé

Dans le domaine ophtalmologique, les pathologies de l'œil de l'enfant paralysé cérébral peuvent être malformatives, génétiques, dégénératives. Elles atteignent les paupières, l'appareil oculomoteur, la cornée, l'appareil ciliaire, le cristallin, le vitré, la choroïde, la rétine et le nerf optique. Les associations avec des atteintes des voies visuelles, du système nerveux et des autres organes sont fréquentes[88].

En dehors de l'atteinte des voies visuelles anté-chiasmatiques, un trouble visuel peut s'observer après une lésion ou un dysfonctionnement des voies visuelles rétro-chiasmatiques. L'origine du trouble n'est donc plus ophtalmologique mais neuro-ophtalmologique ou neurologique. Ces troubles peuvent exister en l'absence de toute anomalie de l'œil.

2.3.1. La perturbation de l'oculomotricité

Les défauts de planification des gestes oculomoteurs volontaires entravent la prise d'informations visuelles. Les stratégies d'explorations constituées essentiellement de la fixation, de la poursuite et des saccades, sont

[85] AUBRY M-J, FRANCIS C, FRANCIS M, TSIMBA V, *La conjugaison des yeux au présent de l'IMC*, Motricité cérébrale n°23, 2002, p126-136
[86] BRIN F, COURRIER C, LEDERLE E, MASY V, *Dictionnaire d'orthophonie*, Ortho Edition, 2004
[87] DALENS H, SOLE M, NEVRIAL M, *Les pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé*, Journal français d'ophtalmologie, 2006
[88] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59

inefficaces et aboutissent à une prise de repère incomplète. Ces troubles peuvent être associés à des difficultés d'attention.

Les **saccades** sont des mouvements conjugués rapides qui permettent de changer d'image. Ainsi elles participent à l'estimation des distances entre deux cibles, la mesure de l'espace de préhension, la représentation corporelle, la position relative des objets entre eux, l'organisation prédictive du mouvement, et la perception de l'espace accessible à la marche. Chez l'enfant cérébrolésé, les saccades peuvent être absentes, mal calibrées, lentes, déstructurées ou encore parasitées par d'autres activités motrices (syncinésies de la face ou mouvements involontaires) ou remplacées par des mouvements de tête[89]. Ceci entraîne une multiplication des mouvements oculaires, accentue la lenteur et pénalise la qualité et l'efficacité du repérage visuel.

La **poursuite visuelle** est la capacité à suivre du regard une cible en mouvement. Elle débute par un mouvement de fixation, suivi d'un mouvement oculaire de poursuite visuelle. Les poursuites permettent de maintenir la stabilité de l'image. Ce sont des mouvements lents. Normalement, les mouvements des yeux et de la tête sont associés au cours de la poursuite, les yeux précédant la tête. Une poursuite efficace doit être lisse sur une cible en mouvement. Dans le cadre de la pathologie, elle peut être remplacée par des microsaccades successives avec perte fréquente de fixation supprimant alors la perception visuelle. Pour que la poursuite soit possible, la fixation doit être stable et constante. Les troubles de la poursuite sont caractérisés par des saccades erratiques, d'amplitude variable, avec parfois une possibilité de récupération de la trajectoire de la cible. Le plus souvent ces troubles sont associés à des nystagmus et à des pathologies de l'exploration de l'espace[90].

La **fixation** est liée aux mouvements oculaires. C'est la capacité à stabiliser son regard sur une cible. Elle constitue le niveau de maturation le plus élevé dans le développement de la vision. C'est un processus actif au cours duquel l'œil est animé de microsecousses (nystagmus physiologique) nécessaires à la perception. La position préférentielle de fixation est normalement droit devant mais elle est souvent différente chez le cérébrolésé. En effet, elle peut parfois être obtenue dans des positions de tête et de tronc inhabituelles qui donnent l'impression que l'enfant regarde ailleurs. Deux raisons peuvent l'expliquer : une fixation coûteuse qui entraîne un relâchement de la posture, ou un mauvais contrôle postural qui empêche la fixation (la tenue de la tête demande déjà un effort qui ne permet pas d'en fournir un autre pour fixer le regard)[91]. Suite à une lésion cérébrale pariétale, la fixation peut s'avérer instable, brève, fugace et inconstante. Ainsi le regard semble errer de façon désordonnée. Le sujet est alors incapable de sélectionner un stimulus pertinent dans

[89] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[90] CRENN A, MILJKOVIC A, *Dépistage de troubles neurovisuels chez les enfants porteurs du syndrome de Prader-Willi*, Mémoire Paris, 2009
[91] CAREL C, *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire Lille, 2006

un environnement donné[92]. L'instabilité de la fixation complique la prise d'information et le suivi visuel, et gêne la concentration et l'attention.

La fixation, les saccades et la poursuite sont des pré-requis à toutes tâches visuelles.

2.3.2. Les atteintes de la vision centrale

L'analyse de la vision centrale reprend les atteintes de la fixation, de l'acuité visuelle et de la vision des couleurs.

Nous l'avons vu précédemment, la **fixation** est inconstante.

Concernant l'**acuité visuelle**, elle est également très variable selon les moments, dans le temps, et l'amélioration chez l'enfant cérébrolésé se poursuit bien au-delà de ce qui est constaté chez l'enfant normal.

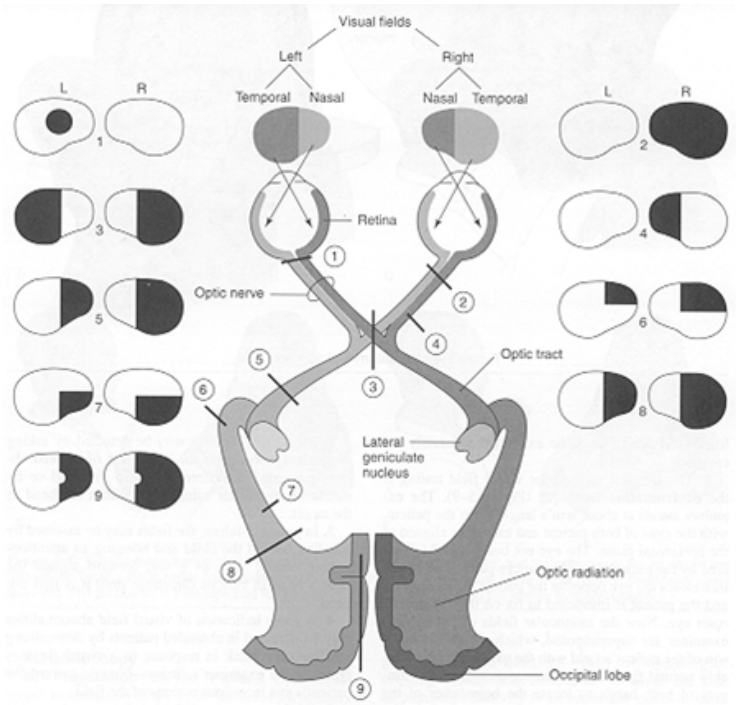
La **vision des couleurs** est importante à évaluer car tous les apprentissages premiers (appariement, puzzle) sont sous-tendus par la couleur. Cependant, selon les tests utilisés, la dénomination des couleurs peut être déficitaire sans que la perception soit atteinte (agnosie des couleurs). Des épreuves d'appariement permettent de connaître les capacités réelles de perception. Cette atteinte est rare chez les enfants atteints de leucomalacie périventriculaire, mais on la retrouve dans les séquelles de cécité corticale[93].

2.3.3. Les atteintes de la vision périphérique

Ces atteintes concernent les déficits du **champ visuel**.

Ces déficits sont très différents selon les lésions anatomiques et l'âge de survenue. Le champ visuel est plus atteint lors de lésions périnatales que lors d'atteintes au cours des deux premiers trimestres de la grossesse[94].

[92] BARBEAU M, DUCARNE B, *Neuropsychologie visuelle : évaluation et rééducation*, De Boeck, 192p, ISBN 2804117448, 1993
[93] DALENS H, SOLE M, NEYRIAL M, *Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé*, Journal français d'ophtalmologie, n°29, p24-31, 2006
[94] DALENS H, SOLE M, NEYRIAL M, *Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé*, Journal français d'ophtalmologie, n°29, p24-31, 2006



Lésions et conséquences[95]

Alors qu'une lésion anté-chiasmatique entraîne une perte totale ou partielle de la vision d'un œil (lésion 1, 2 et 4), une lésion rétro-chiasmatique va avoir des conséquences sur les deux yeux.

Une lésion de la première partie des voies visuelles rétro-chiasmatiques (bandelettes optiques, corps genouillé latéral, radiations optiques, cortex visuel primaire) va générer un déficit de la vision caractérisé par une cécité pour tout ou partie du champ visuel.

Dans sa forme la plus sévère, la perte visuelle touche la totalité du champ visuel. Il s'agit alors de la **cécité corticale** définie comme « une perte de toute sensation visuelle et du nystagmus optocinétique alors que sont préservées la réponse pupillaire, la mobilité oculaire, la rétine et d'une manière plus générale les voies visuelles antérieures »[96].

A un stade moindre, lorsque les voies rétro-chiasmatiques sont partiellement préservées, on observe une **vision tubulaire**, c'est-à-dire une perte du champ visuel périphérique mais avec une conservation du champ visuel central (lésion 3), ou **une vision périphérique** qui est la perte du champ visuel central et la préservation du champ périphérique.

[95] http://www.floiminter.net/psychology/brain_and_behaviour/hemianopsie_etc.png
[96] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p256

En cas d'atteinte occipitale unilatérale, le trouble le plus fréquemment observé est l'**hémianopsie latérale**. L'enfant souffre d'une amputation de son champ visuel controlatérale à la lésion cérébrale. Une lésion cérébrale droite entraîne donc une hémianopsie latérale gauche. Cette hémianopsie latérale est dite homonyme (HLH) lorsqu'elle touche les deux yeux[97]. On appelle quadranopsie une cécité pour un quartier du champ visuel dont la localisation dans le champ est fonction de la localisation de la lésion. Les prématurés atteints de leucomalacie périventriculaire présentent souvent une baisse de sensibilité du champ visuel inférieur[98]. Enfin, le déficit le moins sévère est le **scotome** qui est une « tâche aveugle » dans le champ visuel du patient. Lorsque le scotome se situe dans le champ visuel central, le trouble est alors très invalidant car l'enfant perd sa vision la plus précise[99].

Tous ces déficits du champ visuel peuvent exister à part entière ou correspondre à une étape ultérieure ou antérieure d'un trouble. En effet, une cécité corticale acquise peut régresser spontanément ou après rééducation et évoluer vers une vision tubulaire ou périphérique, ou encore être plus importante dans un hémichamp et aboutir à un tableau d'hémianopsie[100].

Pour Picard & al, en 1988, des altérations du champ visuel seraient présentes dans 70% des cas de paralysie cérébrale[101].

2.3.4. Les atteintes cognitives de la vision

Ils sont les déficits visuels les plus pénalisants dans la vie quotidienne des enfants et dans leur vie scolaire et peuvent être responsables de fréquentes difficultés d'apprentissage.

a. Les troubles de la reconnaissance visuelle

Une lésion au niveau de la voie ventrale d'analyse du message visuel entrave la reconnaissance visuelle et donne des tableaux d'**agnosie visuelle**.

« L'agnosie visuelle désigne l'impossibilité de reconnaissance visuelle d'un objet ou d'un dessin alors que l'acuité visuelle est conservée »[102]. Le patient voit l'objet mais ne le reconnaît pas sur présentation visuelle. Le fait de le toucher ou de l'approcher sous une autre modalité sensorielle lui permettra son identification.

[97] CHOKRON S, *Sémiologie, évaluation et principes de rééducation des troubles neurovisuels d'origine centrale*, Glossa n°51, 1996, p4-16
[98] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[99] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p258
[100] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p258
[101] CAREL C, *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire Lille, 2006

Les agnosies visuelles peuvent être globales pour plusieurs catégories ou affecter un domaine particulier : agnosie des images, des objets, des visages (prosopagnosie), des signes conventionnels écrits, des couleurs.

L'**agnosie des images** est la plus fréquente dans le cadre de la paralysie cérébrale en particulier lorsqu'il s'agit de séquelles de prématurité ou d'anoxie cérébrale précoce. Selon M Mazeau, elle toucherait 10% des enfants cérébrolésés. Il est souvent intéressant de comparer les capacités de reconnaissance d'un objet, de sa photo, de son dessin, de sa représentation symbolique pour apprécier le niveau de l'agnosie et ceci avant de proposer des idéogrammes comme langage alternatif[103].

Au terme d'agnosie, certains auteurs préfèrent utiliser la terminologie « trouble de la reconnaissance visuelle ». Le terme d'agnosie est alors réservé à des sujets qui ont déjà su reconnaître des images et qui ont perdu cette capacité, donc dans le cadre de lésions chez l'adulte.

b. Les troubles de l'organisation et de la représentation spatiale

Ces troubles témoignent de lésions de la voie dorsale d'analyse du message visuel.

Les déficits spatiaux et visuo-perceptifs sont plus fréquents que les atteintes de la reconnaissance. Le tableau le plus classique est celui de la dyspraxie visuo-spatiale associant un trouble de l'exploration visuelle, une mauvaise construction de l'espace en particulier en deux dimensions, une dyspraxie constructive. Un environnement visuel trop riche va perturber l'exploration[104].

La négligence spatiale est un déficit qui touche la perception, la représentation mentale et/ou la réalisation d'actions dans l'espace. Elle est le plus souvent gauche ou bilatérale[105].

Les notions d'organisation et de représentation de l'espace sont très liées à celle d'**imagerie mentale**. En effet, les tâches d'imagerie mentale impliquent les représentations visuo-spatiales puisqu'il s'agit de générer et de visualiser une représentation en l'absence de perception visuelle. La représentation des objets, des lieux, des quantités, des nombres peut être altérée surtout lorsque le type de représentation est orienté spatialement (de gauche à droite, d'est en ouest …). Ces troubles peuvent aboutir à un trouble de l'organisation spatiale qui peut s'observer lors de la copie de figures géométriques[106].

[102] MILEA D, LEHOANG P, *Anomalies de la vision d'origine centrale*, Journal français d'ophtalmologie, n°10, déc 2002, p1073-1078
[103] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[104] DALENS H, SOLE M, NEYRIAL M, *Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé*, Journal français d'ophtalmologie, n°29, p24-31, 2006
[105] JACQUIER M-T, *Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé*, Mot. Cérébrale, n°31, 2010, p45-59
[106] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 382p, ISBN 2353270999, p260

La perception des obliques est déficitaire et les conséquences scolaires sont multiples : dysgraphie, dyscalculie spatiale, altération de la lecture, perturbation des activités de repérage et de géométrie. Le vocabulaire spatial est en général bien conservé et les différentes parties du corps reconnues[107].

c. Les troubles de l'exploration et de l'attention visuelle

Les agnosies spatiales sont caractérisées par une difficulté de localisation des objets situés dans l'espace le plus souvent extra-corporel. Parmi celles-ci, on trouve le syndrome de Balint et la négligence spatiale unilatérale.

Le **syndrome de Balint** a été décrit pour la première fois en 1909 chez l'adulte avec des lésions acquises. Il n'a pas été décrit chez l'enfant paralysé cérébral, mais en clinique, les troubles sont comparables, regroupant la quasi-totalité des dysfonctionnements neurovisuels observables dans les cas d'agnosies spatiales. Ce syndrome se caractérise par une triade de symptômes à savoir une paralysie psychique du regard, une simultagnosie et une ataxie optique.

La paralysie psychique du regard, ou apraxie du regard, est définie « par le fait de ne pouvoir porter son regard en direction d'un point donné de l'espace situé dans un champ visuel périphérique » (Barbeau & Ducarne, 1993). Elle se manifeste par une impossibilité à orienter volontairement son regard. Cependant la capacité à orienter automatiquement le regard est conservée. Le regard alterne alors entre fixité et errance, ceci peut être mis en évidence en demandant de suivre des yeux un objet en mouvement.

La simultagnosie s'exprime par des difficultés à identifier, à reconnaître des objets lorsqu'ils sont présentés simultanément. L'ensemble de la scène visuelle n'est pas identifiée et le patient s'attache aux détails. Dans la vie quotidienne, ce trouble peut entraver les déplacements de l'enfant dans les environnements complexes (foule, centre commercial …). Ce trouble chez l'enfant peut être mis en évidence dans une épreuve de dénomination de figures superposées ou dans des tâches de recherche visuelle.

L'ataxie optique entrave l'enfant dans les gestes volontaires, direction et coordination, sous le contrôle de sa vision. Les membres supérieurs sont le plus souvent touchés. La recherche d'une ataxie optique peut être faite en demandant au patient d'attraper, de pointer ou de saisir un objet qu'il regarde.

La **négligence spatiale unilatérale** (NSU) « se caractérise par l'impossibilité à prendre en compte les stimuli présentés du côté opposé à la lésion cérébrale » (L. Vannier & Al, 2003), et ce quelle que soit la modalité sensorielle. Le patient se comporte comme si l'hémi-espace contralésionnel n'existait plus. Ainsi, un patient ayant des lésions cérébrales dans son hémisphère droit néglige son hémiespace gauche et inversement. Ce trouble est associé à une anosognosie, mais il n'est pas nécessairement associé à une

[107] DALENS H, SOLE M, NEYRIAL M, *Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé*, Journal français d'ophtalmologie, n°29, p24-31, 2006

hémianopsie latérale homonyme. Il atteint l'espace personnel, extrapersonnel proche ou lointain ainsi que l'espace représenté. Très étudié chez l'adulte, ce syndrome est moins bien caractérisé chez l'enfant du fait du faible nombre d'outils spécifiques à l'enfant. La NSU est le plus souvent évaluée à l'aide d'épreuves de barrages ou de dessins.

d. Les troubles de la coordination visuo-manuelle

Nous l'avons vu, la vision joue un rôle primordial dans l'activité motrice de l'individu, notamment dans ses activités visuo-manuelles. Dès lors, les troubles neurovisuels, de l'oculomotricité ou de la représentation visuo-spatiale par exemple, vont générer des difficultés praxiques. Dans ce cadre, une prise en charge neurovisuelle permettra une amélioration de la coordination visuo-manuelle alors qu'une rééducation praxique serait sans effet. Il est important de noter que certaines dyspraxies sont à concevoir comme une conséquence d'un trouble neurovisuel.

2.3.5. Les troubles associés

Au-delà des répercussions sur les stratégies du regard et de la vision, le trouble neurovisuel altère l'exécution ou la mise en place d'autres fonctions cognitives et provoque un nombre conséquent de troubles associés de nature plutôt neuropsychologique. En effet, ces troubles s'accompagnent souvent de **difficultés mnésiques**, essentiellement dans le domaine visuel mais qui pourraient aussi toucher le domaine verbal (Atkinson & Braddick, 2007). De par l'importance du rôle de la vision dans les interactions sociales, un trouble neurovisuel peut provoquer des **troubles du comportement**. On retrouve aussi chez certains patients des symptômes psychiatriques tels que des **troubles de l'humeur** (dépression ou anxiété). Enfin, les troubles neurovisuels s'accompagnent très fréquemment de **troubles des apprentissages**, qu'il s'agisse de dyslexie, de dyspraxie ou de dyscalculie.

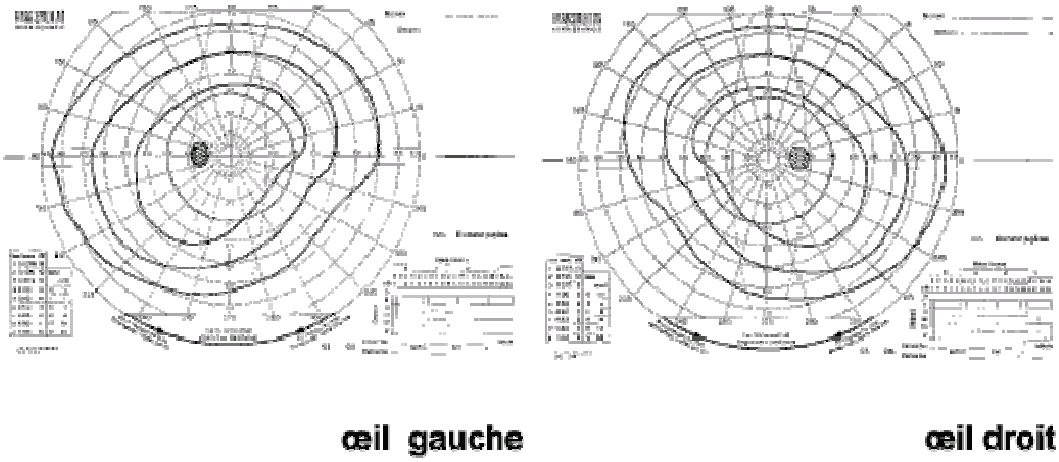
2.4. Les outils de dépistage

Les troubles neurovisuels sont nombreux et sont plus facilement dépistés chez l'adulte cérébrolésé que chez l'enfant du fait de l'absence de plainte de ce dernier. De plus, le caractère invisible du trouble retarde son dépistage, d'autant plus chez des enfants dont la pathologie motrice est prégnante. Pourtant les conséquences des troubles de la cognition visuelle sont multiples notamment dans le domaine des acquisitions scolaires.

2.4.1. La périmétrie

La périmétrie étudie l'ensemble des champs visuels, c'est-à-dire la zone de l'espace perçue par le regard, alors que les yeux restent immobiles. Cette étude nécessite donc une bonne fixation visuelle pendant toute

la durée de l'examen. Elle se fait avec un instrument d'optique appelé périmètre. Voici un exemple de résultat d'un champ visuel normal[108] :



2.4.2. L'électrophysiologie

L'électrophysiologie étudie l'activité électrique des neurones à l'aide d'électrodes.

Le tracé encéphalographique ainsi que les Potentiels Evoqués Visuels permettent de renseigner sur l'activité du lobe occipital ainsi que sur la transmission électrique le long du nerf optique jusqu'au cortex occipital. Ces examens se révèlent particulièrement utiles lorsque le patient présente des troubles du langage trop importants pour permettre la passation d'un champ visuel.

2.4.3. La tomographie à émissions de positions (TEP)

La TEP est une méthode d'imagerie médicale qui permet de mesurer en trois dimensions l'activité métabolique d'un organe. Les travaux réalisés ont permis d'établir une cartographie fonctionnelle du cortex notamment des aires visuelles. Ainsi, des zones différentes seraient activées par des paramètres visuels spécifiques.

2.4.4. Le bilan neurovisuel

Plusieurs bilans neurovisuels ont été établis afin de pouvoir analyser de manière qualitative et quantitative les difficultés des patients atteints de troubles visuels après une atteinte cérébrale. En 1981, Ducarne et Barbeau ont mis en place un protocole comportant dix subtests qui permettent une appréciation des

[108] http://www.chups.jussieu.fr/polys/ophtalmo/POLY.Chp.1.2.2.html

désordres affectant les mouvements oculaires, la perception spatiale, la coordination visuo-motrice et la stratégie visuelle[109].

Plus récemment, à la demande de la direction générale de la santé, l'Unité Fonctionnelle Vision & Cognition de la fondation ophtalmologique Arnold de Rothschild a mis au point une batterie rapide d'évaluation des capacités visuo-attentionnelles de l'enfant de 4 à 6 ans. Cette batterie a pour but de dépister des troubles neurovisuels d'origine centrale chez l'enfant avant l'apprentissage du langage écrit dont on sait qu'il est fortement compromis par ces troubles. « Ce dépistage est fondamental car il permet d'éviter un retentissement de ces troubles sur les apprentissages, de prendre en charge ces troubles de manière spécifique et de spécifier l'origine neurologique du trouble d'un enfant en difficulté »[110]. Ce test est composé de 9 épreuves simples, rapides et de type papier/crayon et évaluent l'étendue du champ visuel, l'oculomotricité, la stratégie visuelle exploratoire, l'attention sélective, l'orientation et l'attention dans l'espace, l'analyse et la reconnaissance visuelle ainsi que la mémoire visuelle.

[109] DUCARNE B, BARBEAU M, *Examen clinique et mode de rééducation des troubles visuels d'origine cérébrale*, Revue neurologique, n°137, 1981, p693-707
[110] http://www.vision-et-cognition.com/evaluation/la-batterie-eva/

III. Les compétences numériques de l'enfant paralysé cérébral

1. La construction du nombre chez l'enfant

1.1. Les apports théoriques

Dans une **perspective constructiviste**, Jean Piaget décrit l'acquisition de la notion de nombre comme intimement liée au développement logique qui s'effectue par stades successifs invariants.

La **neuropsychologie cognitive** conçoit le fonctionnement cérébral comme un ensemble de réseaux ou de circuits complexes qui fonctionnent en parallèle, un ensemble de modules isolables mais en constante interrelation ou interdépendance. Plusieurs modèles neuro-anatomo-fonctionnels ont été établis.

1.1.1. Les travaux de Jean Piaget

L'incontournable modèle théorique sur la construction du nombre chez l'enfant provient de J. Piaget (1972). Pour lui, l'acquisition du nombre représente un des fondements de l'intelligence. Cette théorie constructiviste place l'enfant en position d'acteur de son développement intellectuel. C'est l'expérience de l'enfant dans son environnement qui lui permet de développer ses capacités logiques. Cette construction s'effectue par étapes successives dont le franchissement constitue une condition nécessaire.

Le passage d'un stade à l'autre dépend de processus développementaux tels que **l'assimilation** qui est l'utilisation de schèmes (schémas mentaux indispensables à la réalisation de toute action) disponibles et préalablement acquis pour faire face à une situation nouvelle, **l'accommodation** qui est une invention et une coordination d'autres schèmes en fonction d'une situation nouvelle, et **l'adaptation** qui correspond à l'équilibre entre l'assimilation et l'accommodation et qui va permettre à l'individu d'acquérir les capacités indispensables pour gérer les nouveaux éléments du milieu. Les schèmes vont se diversifier, se modifier au fur et à mesure des expériences de l'individu, devenir plus nombreux, plus généraux et plus mobiles[111].

La théorie piagétienne affirme que le nombre n'est pas une réalité externe que l'enfant absorberait passivement. Il n'est pas une propriété des objets au même titre que la couleur ou la taille. Au contraire, le nombre est construit par l'enfant grâce à ses capacités logiques[112].

[111] GUIOT M, *Exploration des conduites logiques et langagières d'enfants dyspraxiques*, Mémoire, Nancy, 2010
[112] Manuel TEDI-MATH, p4

a. Les stades d'évolution

Piaget distingue quatre stades dans l'évolution de l'enfant : le stade sensori-moteur, le stade préopératoire, le stade opératoire concret et le stade formel.

Lors de ces différentes périodes, l'enfant développe ses connaissances sur les objets. En les manipulant dans un premier temps, il fait ressortir leurs propriétés et leurs relations. Petit à petit, il arrive à se décentrer de ceux-ci. Les actions deviennent au fur et à mesure de moins en moins concrètes et matérielles, elles sont intériorisées jusqu'à être abstraites.

- **Le stade sensori-moteur**

Durant ce premier stade qui dure de la naissance à 2 ans environ, l'enfant met en place les fondements cognitifs nécessaires à l'établissement des futures structures logiques grâce aux schèmes sensori-moteurs. Ce stade préverbal est basé sur les sensations, la perception et le mouvement de l'enfant qui découvre le monde à travers ses multiples expériences motrices. L'enfant organise des conduites, des schèmes d'action, pour atteindre des buts précis. Ainsi, il élabore les notions fondamentales d'objet, de temps, d'espace et de causalité. Petit à petit il se décentre et passe de son corps propre au monde des objets permanents. A la fin de cette première période émerge la fonction symbolique qui lui permet d'élargir son champ de pensée.

- **Le stade préopératoire**

Ce stade, aussi appelé stade de l'intelligence symbolique, s'étend de 2 à 6 ans environ. Durant cette période, l'enfant accède à la représentation, par l'imitation et les jeux symboliques dans un premier temps, puis par le langage. Il y a alors émergence de la fonction symbolique et intériorisation des schèmes d'action. La pensée reste néanmoins intuitive et dépendante de la perception.

- **Le stade des opérations concrètes**

Durant ce stade, aussi nommé stade de la pensée opératoire, l'enfant transforme sa pensée intuitive en une pensée opératoire, mobile et réversible. Cette période commence vers 6 ans et s'étend jusqu'à 12 ans environ. Le raisonnement logique apparaît, les actions peuvent être intériorisées et les objets imaginés. Cependant, les opérations portent encore sur des objets, l'enfant ne peut raisonner que sur une réalité susceptible d'être manipulée. Ainsi l'enfant accède à l'objectivité de la pensée.

- **Le stade des opérations formelles**

Vers 11 ans et jusqu'à 14-15 ans, l'adolescent accède à la pensée logique en se dégageant du concret. Il accède à une logique formelle où les opérations peuvent porter sur des énoncés verbaux, sur des hypothèses. C'est le début d'une pensée hypothético-déductive.

b. Les capacités logiques

Pour J. Piaget, le stade opératoire se caractérise par l'achèvement de la construction des structures de classification, de sériation et de conservation. L'enfant accède ainsi à une pensée logique, réversible.

Piaget isole deux types d'opérations logiques : les opérations logico-mathématiques portant sur des objets (épreuves de classification ou de sériation d'objets) et les opérations infra-logiques qui prennent en compte les caractéristiques physiques des objets (épreuves de conservations physiques et spatiales).

- **La classification**

Une opération de classification consiste à trouver des propriétés communes à des objets différents et à les rassembler selon leurs équivalences, leurs critères communs (taille, poids, couleur …), en faisant abstraction de leurs différences. La relation créée entre les objets est l'**équivalence** et permet la construction de classes logiques. Une classe logique se définit par sa compréhension et son extension. La compréhension est l'ensemble des caractères communs aux éléments d'une même classe, l'extension est l'ensemble des éléments d'une classe qui a été définie par son caractère commun.

La classification est une structure logique importante dans la construction de la cardinalité des nombres. En effet, le nombre cardinal représente un ensemble d'éléments considérés comme équivalents (par exemple, le cardinal 5 est composé de cinq unités équivalentes : 1 1 1 1 1).

Le développement de cette capacité logique de classification s'effectue en trois temps selon Piaget : tout d'abord, l'enfant assemble les objets dans le but de former une figure d'ensemble, c'est le stade des **collections figurales** (de 3 à 5 ans). L'importance est accordée à la représentation spatiale au détriment des relations de ressemblances ou de différences qui existent entre les objets. Vient ensuite le stade des **collections non figurales** (de 5 à 7 ans) : l'enfant est capable de classer les objets selon un critère (la couleur par exemple) mais ne parvient pas à remanier sa collection dans le but de dégager un autre critère (par exemple la taille). Enfin, la dernière étape est celle de la **classification opératoire** (à partir de 7-8 ans). L'enfant possède une maturité intellectuelle qui lui permet de reconsidérer sa première collection pour effectuer différents classements successifs.

Afin de s'assurer que l'enfant possède bien la logique des classes, des épreuves testent ses capacités à inclure les classes les unes dans les autres. C'est à partir de 8 ans que les enfants sont capables de quantifier correctement l'inclusion. La maîtrise de l'inclusion de classe amène à considérer simultanément la partie et le tout.

- **La sériation**

L'opération de sériation consiste à ordonner les objets en fonction de leurs différences ordonnées. Chaque élément en relation dans la suite a une place unique dans une hiérarchie établie. Son rôle est important dans l'organisation des nombres : elle permet d'en structurer la succession, de les comparer deux à deux, de les

situer dans la suite ordonnée de zéro à l'infini et de découvrir le procédé qui permet de passer de l'un à l'autre c'est-à-dire l'itération.

Piaget distingue trois niveaux d'évolution. Vers 4-5 ans, la comparaison reste globale sans sériation exacte et est soumise à l'expérience perceptive immédiate. C'est le **stade pré-ordinal**. Il n'y a pas de conservation des quantités ni de correspondance terme à terme entre deux séries. Vers 5-7 ans, l'enfant parvient à sérier par tâtonnements successifs, la perception immédiate est encore nécessaire. Les rapports établis sont dits **semi-opératoires**. Après 7 ans, la sériation est **opératoire**. Les éléments sont placés sans hésitation ni tâtonnement. L'enfant établit alors la corrélation ordinal/cardinal : par exemple, le quatrième élément (ordinal) appartient à une collection de quatre objets (cardinal).

- **Les conservations**

Le stade opératoire concret se caractérise par l'élaboration de différents types de conservation portant sur des quantités physiques, spatiales ou numériques. Elles se constituent de façon progressive : conservation des quantités discontinues, conservation de la substance, de la longueur, de la surface, du poids et du volume.

La construction de la conservation s'effectue en trois stades. Le premier est le stade de la non conservation dans lequel l'enfant ne se base que sur les états : le sujet considère que la quantité varie avec les modifications de forme. Le second est celui des réponses intermédiaires : les enfants oscillent entre l'influence des facteurs perceptifs et la coordination des deux relations qui les mène à la conservation. Le concept s'impose progressivement mais il n'est pas généralisé ni stable. Dans le troisième et dernier stade, l'enfant affirme d'emblée la conservation de la quantité de matière, indépendamment de la nature et du nombre des transformations réalisées, car il se fonde sur les transformations et ne s'attache plus aux configurations.

La thèse de Piaget accorde une place importante aux aspects moteurs car l'action est une condition à la construction de l'intelligence. Cependant, pour lui, le nombre n'apparaît qu'au stade opératoire. Or, des études neuropsychologiques sur la capacité perceptive du nourrisson remettent en question la théorie piagétienne. Des travaux effectués par des psychologues cognitivistes ou neuropsychologues révèlent l'existence de compétences numériques précoces chez les bébés. En effet, les enfants de moins d'un an seraient capables de comptage et d'appréhension spatiale avant même la manipulation d'objets. Ces compétences sont considérées comme innées et contribuent à la construction du nombre. Néanmoins ces études sont controversées.

1.1.2. Les apports de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie

C'est à partir de l'étude du fonctionnement cognitif d'adultes cérébrolésés que la neuropsychologie tente d'établir des modèles neuro-anatomo-fonctionnels et de modéliser l'acquisition des concepts mathématiques.

Quatre principaux modèles théoriques ont influencé la recherche et la pratique clinique.

a. Modèle des compétences précoces de Gelman

Pour Gelman, toutes les capacités relatives aux mathématiques, le subitizing, la conservation, l'arithmétique, sont une manifestation directe d'une compétence de comptage établie dès la naissance. Il remet par conséquent en question l'idée d'un développement « opératoire » comme seul support du développement de la quantification.

Gelman et Meck (1986) supposent que les connaissances conceptuelles dont les bébés ont besoin lors de l'apprentissage des nombres sont initialement contenues dans un module neuronal de comptage préverbal. Ils s'appuient pour cela sur le **modèle de l'accumulateur** de Meck et Church (1983).

Le modèle de l'accumulateur comprend trois mécanismes[113] :

- un générateur interne d'impulsion qui libère à vitesse constante des impulsions,
- un sas qui, lorsqu'il est fermé puis ouvert de manière répétée, permet à l'énergie de passer par bouffées successives,
- un accumulateur dans lequel l'énergie est chargée. L'énergie enregistrée sert alors de représentation analogique des nombres.

Le générateur interne produit constamment des impulsions. Chaque fois qu'une entité est comptée, une vanne s'ouvre pour un temps fixe et bref et permet à l'énergie de passer dans un accumulateur. Selon le mode d'ouverture et de fermeture de la vanne, la représentation sera différente.

Il s'agit d'un mécanisme qui détermine un nombre discret d'entités individuelles sans prendre en compte les caractéristiques perceptives (configuration, contour, taille, volume, densité) de ces entités.

Seules les petites numérosités sont parfaitement discriminées, ce qui permet de rendre compte de la limite de discrimination précise des bébés aux petites collections de 3 ou 4 entités[114].

[113] BENOIT L, *L'acquisition des codes numériques chez les enfants de 3 à 5 ans*, Thèse, Montpellier, 32p, 2006, p17

b. Modèle du transcodage asémantique de Deloche et Seron

Entre 1982 et 1987, Deloche et Seron étudient des sujets aphasiques et s'attachent plus particulièrement à leurs difficultés de transcodage : transcodage des numéraux verbaux arabes en numéraux verbaux écrits et inversement. Le principe de ce modèle est qu'il n'est pas nécessaire de construire une représentation sémantique intermédiaire pour réaliser un transcodage. En effet, à une forme numérale (arabe ou verbale) correspond un seul et unique numéral possible. Par exemple, à la forme numérale arabe « 5 » correspond la forme verbale « cinq » uniquement. Le sens du nombre n'intervient donc pas obligatoirement dans le transcodage.

Le modèle du transcodage asémantique reste encore en attente d'une validation. En effet, à ce jour, le fait de pouvoir passer d'un code numérique à un autre sans nécessairement élaborer une représentation sémantique intermédiaire n'a pas encore été clairement démontré. McCloskey rappelle d'ailleurs que lorsque nous utilisons les nombres, nous les comprenons également, ce qui implique que nous en construisons même inconsciemment une représentation sémantique.

c. Modèle de McCloskey

En 1985, McCloskey, Caramazza et Basili proposent un modèle du traitement des nombres et du calcul comprenant un système de compréhension des nombres, un système de production des nombres, un système de calcul et une représentation sémantique.

Ce modèle s'inspire des travaux menés en neuropsychologie en ce qui concerne les niveaux de traitements lexicaux. Les auteurs élaborent un modèle prenant en compte à la fois le traitement des nombres et l'arithmétique élémentaire. En opposition avec le modèle de Deloche et Seron, la composante centrale du modèle est que le passage d'un code à l'autre se fait obligatoirement par l'activation d'une représentation sémantique.

Les auteurs distinguent trois systèmes indépendants : deux pour le traitement des nombres (les systèmes de compréhension et de production des nombres), et un système pour le calcul. Ces systèmes s'articulent autour de la représentation sémantique abstraite.

- **le système de compréhension des nombres**

Ce système permet de construire la représentation sémantique. A un premier niveau, on distingue le système de compréhension verbale et le système de compréhension arabe. A l'intérieur, les mécanismes

[114] NOEL M-P, PALMERS E, *La perception numérique chez le bébé et le petit enfant : une mise en question*, Revue Enfance, vol 55, 2003, p65 à 73

lexicaux permettent de comprendre ou produire les mots ou chiffres composant le nombre tandis que les mécanismes syntaxiques traitent les relations qui unissent les éléments constitutifs du nombre pour comprendre ou produire un nombre.

- **le système de production des nombres**

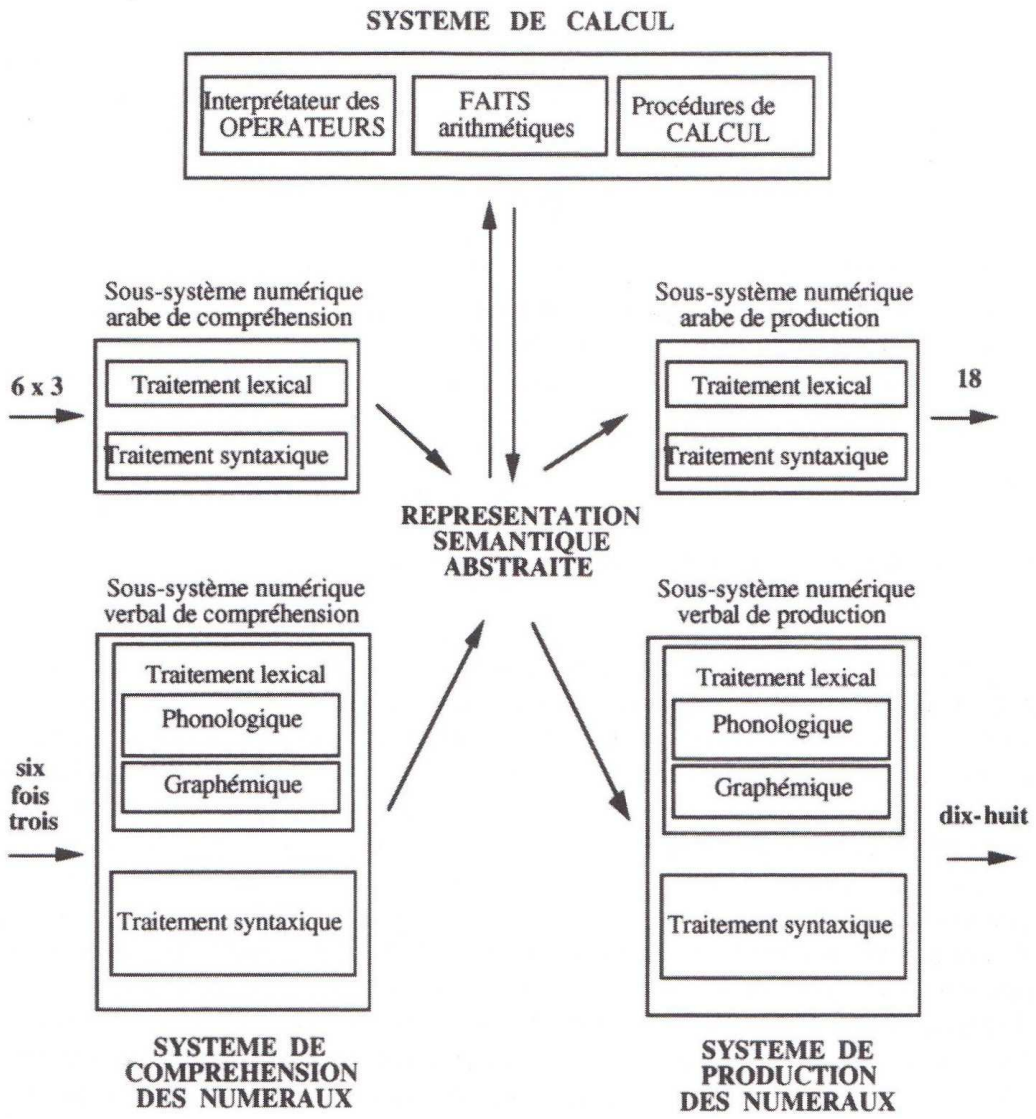
Ce système possède une structure en miroir par rapport au système de compréhension. Il est activé à partir d'une représentation sémantique interne qu'il a pour fonction de transformer en formes numériques écrites ou orales.

- **le système de calcul**

Il comporte trois sous-composants. Le premier sous-tend l'interprétation des symboles écrits ou des mots spécifiant l'opération à effectuer. Le second est responsable de la recherche des faits arithmétiques (tables de multiplications, résultats d'additions, de soustractions et de divisions simples). Le dernier gère l'exécution des calculs écrits ou mentaux.

- **la représentation sémantique abstraite**

Il s'agit de la composante centrale du modèle, point de passage obligé de toutes les tâches numériques. « Elle est décrite sous la forme d'une formule sémantique exprimant chaque nombre en terme de puissance de dix, à laquelle est associée une quantité correspondant à chaque valeur composant la forme numérique en question » (Seron et Lochy, 2005). L'hypothèse d'une représentation sémantique abstraite intermédiaire reste très discutée.



Modèle d'architecture modulaire pour le traitement des nombres et du calcul de McCloskey, Caramazza et Basili (1985)

Ce modèle a permis de distinguer les étapes de compréhension et de production des nombres. Cependant, cette approche ne s'inscrit pas dans une perspective développementale et ignore l'impact de la maturation logique sur la construction du raisonnement chez l'enfant[115].

[115] VAN NIEUWENHOVEN C, DE VRIENDT S, *L'enfant en difficultés d'apprentissage en mathématiques*, Solal, 2010, 270p, ISBN 2353270905

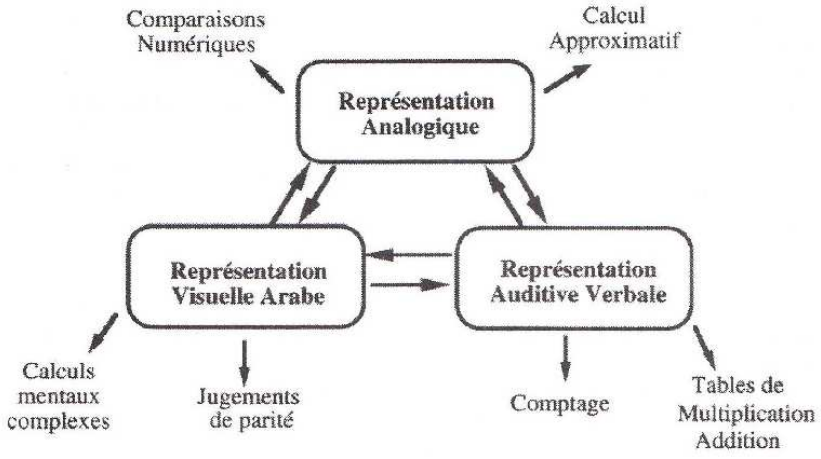
d. Modèle de Dehaene

En 1992, Dehaene établit un modèle d'architecture du traitement numérique appelé « modèle du triple code ». L'auteur se base sur le postulat que les nombres sont représentés et manipulés sous trois types de codage : code analogique qui traite la quantité, code verbal et code indo-arabe.

Le **code analogique** est inné, il correspond à une représentation non-symbolique du nombre. Ce codage permet très tôt à l'enfant d'effectuer des calculs approximatifs et d'accéder au « sens du nombre ». La projection anatomique du code analogique correspond aux zones pariétales inférieures bilatérales, et plus particulièrement aux sillons intra-pariétaux.

Le **code verbal** est le premier codage symbolique que rencontre l'enfant avec une mise en relation quantité/nom de nombres. Dès 2 ans et demi, l'enfant sait qu'un nom de nombre correspond à une quantité. Selon Mirassou, les doigts joueraient un rôle de support pré-symbolique. La manipulation du code verbal suppose des capacités d'abstraction, l'augmentation de la quantité étant signifiée par l'ordre des mots dans la chaîne numérique verbale. La modalité verbale, orale et écrite, intéresse la région temporale gauche périsylvienne (aire classique du langage).

Le **code indo-arabe** est la représentation visuelle des nombres en chiffres et dépend d'un apprentissage explicite. La notation repose sur le concept de base 10 ainsi que sur la notion de rang. Sa manipulation nécessite un traitement visuo-spatial qui s'élabore dans les régions bilatérales occipito-temporales.



Modèle du Triple Code de Dehaene

Ce modèle du triple code stipule que toute tâche numérique est liée à un code spécifique. En effet, le code analogique permet la réalisation de tâches d'estimation, de comparaison et de calcul approximatif. Le code verbal est dévolu au comptage et aux faits numériques. Le jugement de parité et l'arithmétique écrite sont traités par le code visuel arabe. Sur le plan neuropsychologique, on disposerait donc d'un double système de quantification : un système analogique de calcul approximatif et un système symbolique pour les calculs précis. Les interconnexions des régions cérébrales spécifiques permettent un travail en réseau des différents

systèmes selon la tâche de calcul requise, avec une activation sélective d'une ou de plusieurs zones cérébrales en fonction du calcul[116].

e. Les régions cérébrales du calcul

L'imagerie cérébrale a permis de localiser précisément un large réseau qui s'active lors du calcul mental. Il implique de multiples régions qui sont distribuées dans les lobes frontaux et pariétaux et varient selon le type de calcul effectué : comparaison, addition, soustraction ou multiplication. Le sillon intrapariétal est systématiquement activé dans les deux hémisphères pour toutes les tâches qui nécessitent une manipulation des quantités[117]. En utilisant la technique des potentiels évoqués cognitifs, Dehaene (1996) a observé une activation spécifique de la jonction pariéto-temporo-occipitale dans les deux hémisphères mais avec une dominance du coté droit dans une tâche de comparaison numérique[118]. Ce sillon est aussi impliqué dans d'autres fonctions comme le langage, l'attention ou les saccades oculaires. Une corrélation anatomique fonctionnelle existe donc entre la neurovision et le calcul.

Au sein de ce large réseau fonctionnel, S. Dehaene et L. Cohen ont émis l'hypothèse qu'il y aurait au moins deux systèmes cérébraux impliqués dans le calcul mental : l'un est non verbal, fondé sur le sens des nombres et la manipulation des quantités, l'autre est verbal et fondé sur la mémorisation des calculs (additions simples et tables de multiplication). Ce premier système de calcul fait principalement appel au sillon intrapariétal. La présentation visuelle de chiffres entraîne une activation de cette région, de même que l'estimation numérique d'ensembles d'objets.

A partir des travaux menés en neuropsychologie cognitive, en imagerie cérébrale et sur le développement des habiletés arithmétiques, un ensemble de propositions théoriques cohérentes a été établi. Les points de controverse restent certes nombreux. Selon X. Seron et A. Lochy, les prochaines recherches vont se concentrer autour de trois axes principaux : les bases neurofonctionnelles de l'arithmétique cognitive, les rapports entre le langage et la cognition arithmétique et enfin la nature des prédispositions biologiques qui nous rendent aptes à développer nos compétence arithmétiques[119].

[116] CHOKRON S, DEMONET J-F, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 2353270999, p260
[117] DEHAENE S, MOLKO N, WILSON A, *Dyscalculie, le sens perdu des nombres*, Revue La recherche, N°379, oct 2004
[118] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 2294019083, p74
[119] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 2294019083, p75

1.2. L'apprentissage du nombre

1.2.1. Les compétences précoces du bébé

D'après des études de Starkey et Cooper en 1980, la sensibilité des jeunes enfants (de moins de 12 mois) à la quantité est très précoce et précède l'apparition du langage. Ces auteurs ont en effet mis en évidence une capacité de discrimination visuelle entre les quantités 2 et 3 sur des bébés de 16 à 30 semaines. Des différences significatives dans les temps de fixation des collections ont été observées pour la discrimination entre 2 et 3 mais pas pour les quantités 4 et 6 [120].

Les dernières recherches sur les capacités numériques du bébé soulèvent le problème méthodologique dans les expériences effectuées. En effet, des auteurs comme Clearfield et Mix ou encore Tan et Bryant dans les années 1999 et 2000, attirent l'attention sur le rôle possible des indices non numériques dans la quantification des collections tels que la longueur des contours, l'aire, le volume ou la densité des objets. Les capacités numériques relèveraient alors plutôt d'une intuition, d'une discrimination visuelle des ensembles d'objets basée sur la numérosité c'est-à-dire sur le jugement approximatif de la variation d'une quantité sans dénombrement.

1.2.2. L'importance des manipulations d'objets

Dès le stade sensorimoteur décrit par Piaget, l'enfant, par son interaction avec l'environnement, développe sa compréhension du monde et en cela, la manipulation est fondamentale pour lui[121].

La manipulation a une importance primordiale dans l'élaboration des concepts : elle aide l'enfant à construire des images mentales et facilite ainsi l'accès à l'abstraction.

Lorsque l'enfant manipule, il prend un certain nombre d'indices par le toucher, par la vue et par la verbalisation de ce qu'il fait. Ces activités contribuent à la construction de ses outils mentaux. Il est nécessaire que le matériel utilisé soit très varié pour permettre une généralisation des concepts découverts.

On distingue deux types d'expériences : les expériences physiques et les expériences logico-mathématiques. Les expériences physiques consistent à découvrir les objets, donc à les manipuler en mettant en jeu la perception, l'intuition et la constatation. C'est la connaissance physique qui permet de mobiliser des informations perceptives pour la découverte des propriétés des objets telles que la masse, la couleur, la

[120] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 2294019083, p84

[121] MACHABEY E, *Déficiences motrices : impact du manque de manipulation dans le domaine logico-mathématique*, Mémoire Nantes, 2010

résistance, la densité. L'expérience physique participe à l'élaboration de la représentation des objets et des situations et ce grâce à la perception et l'image mentale.

Les expériences logico-mathématiques consistent à agir sur les objets (pâte à modeler, sable, eau, …) en modifiant leur structure interne ou les rapports entre eux. En agissant sur la matière, l'enfant constate un changement de forme, de quantité, de masse. Son expérience aboutit à un résultat. L'utilisation d'objets permet à l'enfant de tester des stratégies en procédant par essai-erreur. L'action sur les objets est réversible, il est toujours possible de revenir en arrière ou de recommencer. L'ensemble des manipulations développe ses compétences logico-mathématiques et est indispensable à l'élaboration de sa pensée logique.

« Manipuler les objets, c'est structurer son intelligence et sa pensée en établissant des correspondances, des comparaisons, des relations afin de découvrir des lois et élaborer des concepts »[122].

Lorsque les capacités d'abstraction, de symbolisation et d'anticipation sont suffisantes, l'enfant prend conscience que le matériel ne lui est plus indispensable et il s'en détache naturellement au profit d'un raisonnement intériorisé, abstrait, plus rapide.

1.2.3. L'acquisition et la manipulation des nombres

Avant tout apprentissage scolaire, l'enfant utilise déjà le nombre dans son quotidien. Il peut réciter une petite suite de nombres et réaliser des dénombrements ou des correspondances terme à terme pour des petites quantités[123].

Selon A. Van Hout, « l'apprentissage initial de la chaîne numérique se fait de manière incidente. Très tôt, l'enfant rencontre les noms des nombres dans différents contextes et apprend la distinction entre les mots représentant des nombres et les autres mots ».

Suite à un apprentissage par cœur de la suite numérique telle une comptine, l'enfant va pouvoir décomposer la séquence en mots et établir des relations entre ceux-ci. Il existe quatre niveaux d'organisation de la chaîne numérique. Le premier niveau est nommé **niveau chapelet** car les nombres ne sont pas individualisés. L'enfant ne peut segmenter la séquence. Elle est mémorisée dans sa totalité et récitée mécaniquement sous la forme « undeuxtroisquatrecinqsix … ». Ce comptage s'apparente à une récitation dénuée de tout sens arithmétique. Puis, l'enfant atteint le **niveau de chaîne insécable** : les mots sont individualisés mais l'enfant doit toujours commencer son comptage par « un ». En revanche, il peut compter jusqu'à une borne précise. Cet exercice demande de garder en mémoire la limite à ne pas dépasser. C'est à cette période qu'on observe la mise en place de la correspondance terme à terme. Vers 6 ans, cette

[122] MACHABEY E, *Déficiences motrices : impact du manque de manipulation dans le domaine logico-mathématique*, Mémoire Nantes, 2010
[123] LUSSIER F, FLESSAS J, VOYAZOPOULOS R, *Neuropsychologie de l'enfant : Troubles développementaux et de l'apprentissage*, Dunod, 2009, 593p, ISBN 2100513656, p297

chaîne devient **sécable**. L'enfant peut la manipuler et ainsi compter à partir d'un nombre ou compter d'un nombre à un autre. C'est aussi le début du comptage à rebours. Le dernier niveau est celui de la **chaîne terminale** : les mots de la chaîne sont totalement individualisés et « acquièrent leur sens numérique, et leurs relations avec les opérations arithmétiques sont perçues »[124]. L'enfant associe un seul mot-nombre à un objet de la collection. Il respecte donc un des principes du dénombrement qu'est la correspondance terme à terme.

1.2.4. Les procédures de quantification chez l'enfant

On distingue trois processus de quantification : le dénombrement, le subitizing et l'estimation globale.

a. Le dénombrement

Le dénombrement est une procédure nécessaire pour quantifier une collection de plus de quatre éléments. Le dénombrement est défini comme « une technique de comptage permettant de comprendre que le dernier mot-nombre énoncé représente à lui seul la quantité de tous les objets présents dans la collection » (Campolini).

Pour dénombrer correctement une collection, l'enfant met en œuvre trois types d'habiletés : l'énonciation, le pointage et la coordination entre l'énonciation et le pointage. Tout d'abord, l'**énonciation** de la suite conventionnelle nécessite une connaissance et une maîtrise de la chaîne numérique. Ensuite, ce processus de dénombrement nécessite un **pointage** manuel ou visuel de chaque élément, et ce une seule fois. Pour cela, l'enfant doit pouvoir orienter son attention dans l'espace. Ce pointage peut être rendu difficile selon la taille et la disposition de la collection. Ainsi, lorsque la disposition est aléatoire, l'enfant doit faire appel à ses compétences mnésiques afin de pouvoir garder en mémoire les éléments pointés et donc déjà comptés. L'utilisation du geste soulage la mémoire de travail et facilite les autres traitements, notamment l'énonciation de la chaîne numérique et la coordination entre les mots-nombres et les cibles. « En pointant manuellement, le sujet sépare les objets en deux ensembles, les *déjà comptés* et ceux qui restent *à compter* ». Enfin, la **coordination entre l'énonciation et le pointage** va permettre de dénombrer correctement la collection.

Deux points de vue théoriques sur l'émergence du dénombrement dans l'enfance s'opposent : la théorie dite des « principes en premier » et celle dite des « principes après »[125].

[124] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 2294019083
[125] INSERM 2007, *Dyslexie dysorthographie dyscalculie, Bilan des données scientifiques*, 378p, p111

La théorie des principes en premier affirme que les principes guidant le dénombrement seraient innés. Ces principes, définis par Gelman et Gallistel en 1978 sont au nombre de cinq :

- le **principe d'ordre stable**, les mots nombres doivent être formulés dans le même ordre à chaque comptage,
- le **principe de correspondance terme à terme** selon lequel chaque élément d'une collection doit être désigné par un seul mot nombre,
- le **principe cardinal** selon lequel le mot nombre qui désigne le dernier élément d'une collection représente le nombre total d'éléments,
- le **principe d'abstraction** selon lequel l'ensemble sur lequel porte le comptage peut être constitué d'éléments hétérogènes tous pris comme unités,
- le **principe de non pertinence de l'ordre** selon lequel le comptage des éléments peut se faire dans n'importe quel ordre, pour autant que les autres principes soient respectés.

Pour R. Gelman, les principes d'ordre stable, de correspondance terme à terme et de cardinalité sont innés. Ils guident l'apprentissage de la suite des noms de nombre et du comptage. L'enfant possède une connaissance implicite de ceux-ci.

La théorie des principes après postule que les principes sont progressivement abstraits, ceci résultant d'une pratique répétée des procédures de dénombrement acquises par imitation[126]. D'après Fuson en 1988, « c'est en pratiquant des comptages et des dénombrements dans diverses situations que l'enfant finit par comprendre les principes directeurs »[127]. Le dénombrement serait d'abord une activité sans but, une routine, et l'enfant ne découvrirait que progressivement le lien avec la cardinalité. L'émergence de ce lien trouverait son origine dans le subitizing.

b. Le subitizing

Le subitizing est un processus perceptif rapide et sûr d'appréhension immédiate de la quantité pour les petites numérosités, c'est-à-dire inférieures à 3 ou 4 objets, allant jusqu'à 7 objets pour certains auteurs.

Le processus de subitizing a été mis en évidence par Kaufman en 1949 qui constate que lorsque l'on présente à des sujets des ensembles de points à compter, il y a une discontinuité dans la courbe des temps de réponse. Il n'observe pas de différence entre 1 et 2, ainsi qu'entre 2 et 3. Cette augmentation des temps de réponse n'apparaît que pour des quantités plus importantes. L'auteur fait donc l'hypothèse que les sujets ne

[126] INSERM 2007, *Dyslexie dysorthographie dyscalculie, Bilan des données scientifiques*, 378p, p112
[127] REGINA C, « A l'aventure Dénombre », Mémoire Lille, 2012

comptent pas les éléments de petits ensembles, et interprète cette absence d'augmentation comme le reflet d'un processus de perception globale et immédiate des petites quantités[128].

Pour Mandler et Shebo (1982) ce subitizing repose sur la reconnaissance de la configuration canonique, disposition spatiale régulière.

Pour Gelman et Gallistel, il ne serait rien d'autre qu'un dénombrement très rapide.

Enfin, d'autres auteurs supposent que le subitizing relèverait de l'application d'un processus général d'estimation.

c. L'estimation globale

La perception immédiate globale est une quantification approximative de la taille d'un ensemble. Des études ont montré qu'avec un entraînement, un adulte peut estimer la numérosité d'une collection pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de points en une ou deux secondes (Krueger 1982). Dans le cas général, cette estimation est rapide mais reste imprécise[129].

1.2.5. L'acquisition du système numérique

On distingue un lexique verbal, lexique des numéraux verbaux écrits ou oraux, et un système arabe.

a. Le lexique verbal

L'enfant sait très tôt, dès deux ans et demi, qu'un nom de nombre correspond à une quantité. A trois ans, il peut mettre en relation le nombre deux et une collection de deux objets. Pour autant, un long développement est nécessaire pour acquérir les correspondances exactes entre les quantités et les mots. L'enfant doit parallèlement mémoriser un vocabulaire spécifiquement numérique et découvrir une syntaxe permettant de compter jusqu'à l'infini.

Le lexique verbal contient les primitives lexicales : les unités (de un à neuf), les particuliers (de onze à seize), les dizaines (de dix à quatre-vingt dix) et les opérateurs (cent, mille et million).

« Chaque primitive lexicale est caractérisée par la classe à laquelle elle appartient et par sa position à l'intérieur de celle-ci » (Deloche & Seron, 2000). Pour accéder à ces informations de classe et de position, il n'est pas nécessaire d'activer des informations sémantiques sur le nombre. La morphologie même du

[128] ARP S, *Subitizing et troubles oculomoteurs chez l'enfant IMC*, Revue ANAE n°78, juin2004
[129] INSERM 2007, *Dyslexie dysorthographie dyscalculie, Bilan des données scientifiques*, 378p, p112

numéral verbal donne les informations : le suffixe renvoie à la classe et le radical à la position. Par exemple, dans « cinquante », le suffixe « -ante » indique la classe des dizaines et le radical « cinq- » la cinquième position dans la classe.

La syntaxe se construit sur des relations sémantiques additives (cent trois) ou multiplicatives (trois cents). Toutefois, l'absence de régularité reste un obstacle pour sa mise en œuvre. En effet, on utilise le mot nombre soixante-dix mais pas quarante-dix[130].

b. le système arabe

Le système arabe, plus simple, comporte dix primitives lexicales (les chiffres de 0 à 9) et possède une seule et unique règle : l'interdiction d'initier un numéral par 0.

Ce système de notation strictement positionnelle demande un apprentissage explicite. L'apprentissage du code arabe s'effectuerait initialement en relation avec le code verbal avant de devenir indépendant.

Il s'agit d'un système positionnel en base 10, c'est-à-dire qu'à « chaque déplacement d'une position vers la gauche, le chiffre augmente sa valeur d'une puissance de 10 » (Seron & Pesenti, 2000). Les numéraux verbaux peuvent ainsi être décomposés sous forme d'addition de puissance. Par exemple, 3254 peut être développé ainsi : 3x10^3 + 2x10^2 + 5x10^1 + 4x10^0. La valeur du chiffre est différente selon la place occupée par l'unité numérative dans la séquence. Lorsqu'aucune valeur n'occupe une position donnée, le zéro sert à marquer cette absence de valeur[131].

1.2.6. Les transcodages

Les transcodages sont le passage d'une représentation dans un code vers une représentation dans un autre code. Les plus fréquemment utilisés sont la lecture et la dictée de nombres. Ecrire sous dictée un nombre arabe implique la compréhension du nombre verbal en entrée et la production du nombre correspondant en code arabe.

Les erreurs spécifiques produites peuvent se traduire par une atteinte lexicale, avec un nombre de chiffres respecté mais le remplacement d'une primitive lexicale par une autre (par exemple 58 devient 68). Les erreurs syntaxiques révèlent un nombre de chiffres non respecté, tels des ajouts de zéros (325 devient 30025), des lexicalisations (87 devient 4/20/7), des chiffres manquants (3164 devient 364), des ajouts de 1 pour cent ou mille (287 devient 2187). On observe aussi des erreurs mixtes (347 devient 3148) et des

[130] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 2353270999, p213
[131] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 2353270999, p214

erreurs de type phonologique (14 devient 40). Ces difficultés semblent davantage liées à la non-maîtrise du code arabe.

1.2.7. Les opérations logiques

Selon la théorie piagétienne, le nombre n'existe qu'à partir de l'aptitude mentale de l'enfant à raisonner. Il se construit à partir des capacités logiques de l'enfant que sont les opérations de sériation et de classification. Le nombre d'une collection d'objets doit rester invariant quelle que soit la disposition spatiale des éléments. L'invariance ou la conservation du nombre se traduit par la capacité de déduire par raisonnement logique que la quantité d'un ensemble d'objets reste la même sans retrait ni ajout[132].

2. L'apprentissage de la numération chez l'enfant cérébrolésé présentant des troubles neurovisuels

Les difficultés d'apprentissage en mathématiques des enfants cérébrolésés sont connues depuis longtemps. Une recherche publiée en 1989 (de Barbot, Meljac, Truscelli et Henry-Amar) mettait en évidence leur fréquence dans cette population. Sur 120 enfants paralysés cérébraux d'âge scolaire, 60% présentaient des difficultés d'apprentissage en mathématiques[133].

Nous l'avons vu précédemment, les progrès de la médecine s'accompagnent d'une augmentation du nombre d'enfants souffrant d'atteintes neurologiques, relatives soit au degré de prématurité soit à l'importance de l'épisode d'asphyxie périnatale. Or, parmi les troubles consécutifs à ces étiologies, les troubles neurovisuels occupent une large place. Ces conclusions laissent supposer une augmentation de la fréquence des atteintes cérébrales et des troubles neurovisuels chez l'enfant.

2.1. L'enfant paralysé cérébral et la construction du nombre

L'accès au nombre se fait essentiellement par des manipulations et des comptages de collections chez les tout-petits. Or, les enfants paralysés cérébraux peuvent avoir des difficultés de manipulation et d'exploration visuelle qui interfèrent et perturbent le dénombrement[134].

[132] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 978-2353270999, p218
[133] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p290
[134] MAZEAU M, LE LOSTEC C, L'enfant dyspraxique et les apprentissages, Masson, 2010, 216p, ISBN 978-2294710223

2.1.1. Difficultés rencontrées

Diverses études rendent compte de difficultés spécifiques à l'enfant cérébrolésé.

a. La comptine

La comptine appartient au domaine du langage. Comme chez le sujet ne présentant pas de lésion, on retrouve pendant l'apprentissage les trois segments décrits par Fuson et Al (1982) : un segment stable et conventionnel correspondant à la comptine telle que les adultes peuvent la réciter, un segment stable et non conventionnel dans lequel l'ordre des nombres n'est pas respecté tandis que la succession proposée par l'enfant reste constante, et un segment ni stable ni conventionnel fait de mots de nombres énoncés dans un ordre variable et non reproductible.

En 1996, Bardi et Laguière ont montré que les anciens prématurés dyspraxiques n'acquièrent la comptine que lentement : « entre 5 et 6 ans leur segment canonique et stable n'atteint que la moitié de celui de leurs contemporains bien portants »[135].

b. Les manipulations

Nous l'avons vu précédemment, les manipulations sont fondamentales pour l'enfant et participent à son développement cognitif, notamment à la construction de ses habiletés logico-mathématiques.

Dans le cadre de la paralysie cérébrale, l'atteinte plus ou moins étendue des structures du système nerveux central nuirait au développement d'une motricité harmonieuse, ajustée et rapide. L'enfant se retrouve dépendant de son corps qu'il a du mal à contrôler et dépendant de l'environnement qu'il a du mal à appréhender et à découvrir. Les actions sur le monde qui l'entoure sont réduites. Les expériences physiques et logico-mathématiques vont donc être limitées.

Aujourd'hui, si l'on s'appuie sur la théorie de Piaget, on suppose qu'il existe un lien de causalité entre la pauvreté des manipulations et les difficultés logico-mathématiques. Cependant, aucune étude n'est parvenue à l'affirmer[136].

[135] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p231

[136] MACHABEY E, *Déficiences motrices : impact du manque de manipulation dans le domaine logico-mathématique*, Mémoire Nantes, 2010

c. Le pointage

Le pointage est souvent déficitaire, notamment chez les anciens prématurés présentant une lésion cérébrale. En effet, leurs performances sont nettement inférieures à celles des témoins de même âge chronologique. Plusieurs études montrent que 95% des enfants paralysés cérébraux présentent des dyspraxies essentiellement dues à des troubles oculomoteurs importants. Dans le cadre du dénombrement, ces troubles ont des répercussions sur les performances et sur la compréhension des différents principes de comptage. Les causes sont de trois ordres :

- Le pointage peut être altéré par une difficulté de saisie des coordonnées topologiques de la cible. L'action de pointer nécessite un repérage et une structuration spatiale de qualité. De plus, la fixation oculaire ou digitale, n'est pas efficace chez l'enfant cérébrolésé.
- Le mouvement de pointage lui-même peut être rendu difficile, par le handicap moteur pour le pointage manuel, par les troubles oculomoteurs en ce qui concerne le pointage oculaire et oculo-manuel. Chez certains enfants, c'est la précision du geste initial qui est défectueuse ce qui met en défaut toute la suite de l'opération.
- Enfin, la séparation entre le « déjà pointé » et le « restant à pointer » suppose l'existence d'une barrière virtuelle mobile qui se déplace au fur et à mesure de la réalisation du dénombrement. Chez le sujet normal, cette barrière est fonctionnelle dès 3 ans. Dans le cadre de la paralysie cérébrale, les erreurs sont réduites voire supprimées lorsque cette barrière est matérialisée. Le désordre semble donc être plus d'ordre attentionnel ou perceptif.

Dans la pratique, il est cependant difficile d'attribuer telle ou telle cause à une difficulté de pointage[137].

En 1989, De Barbot & Al observent, dans des épreuves de dénombrement, que ces enfants ont tendance à oublier des objets et/ou à pointer entre les unités. Parfois, le regard va plus vite que le doigt ou inversement. Souvent, l'énoncé de la suite des mots nombres ne correspond pas au pointage. La correspondance du doigt avec l'objet et celle du pointage digital avec l'énonciation verbale ne sont pas synchrones. L'enfant peut alors trouver deux résultats différents pour une même collection. On imagine alors la difficulté à acquérir l'invariance du nombre[138].

En 2001, une étude de Arp et Fagard a montré que malgré un handicap visuo-manuel important, les enfants IMC préfèrent utiliser le pointage manuel plutôt que visuel, malgré des erreurs. En effet, dans une épreuve de dénombrement, la consigne interdisant d'utiliser la main engendre une augmentation des réponses données au hasard. Les enfants IMC utilisent massivement le pointage manuel. Ceci semble être pour eux

[137] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p232
[138] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p74

une tentative de pallier leurs troubles visuo-spatiaux et oculomoteurs qui les empêchent d'accéder au pointage visuel. Plus le handicap visuo-manuel des enfants est important, plus leur performance aux épreuves de comptage est déficitaire[139].

Cette difficulté de pointage a des répercussions sur les performances et la compréhension des différents principes du dénombrement.

d. Le dénombrement

En 1996, une étude de Bardi et Laguière a montré un déficit dans les activités de dénombrement chez les enfants paralysés cérébraux lorsque les collections étaient disposées de manière aléatoire. Si la collection était présentée en disposition linéaire, les réussites atteignaient un niveau attendu pour cet âge. Selon ces auteurs, ces enfants ont des troubles d'ordre procédural, c'est-à-dire des difficultés à planifier le déroulement de l'action de comptage.

Pour beaucoup d'auteurs, c'est la mise en œuvre des cinq principes décrits par Gelman et Gallistel qui rend difficile toute tâche de dénombrement.

Le principe de correspondance terme à terme : il s'agit de la correspondance entre un élément et un mot-nombre au cours du dénombrement. Cela suppose donc que comptine et pointage se déroulent de façon synchrone. Chez l'enfant normal, Camos (1998) montre que la synchronisation de la récitation de la comptine avec le rythme du pointage est « sans coût cognitif ». Or, chez certains anciens prématurés dyspraxiques, elle a observé que malgré une capacité à pointer à un rythme fixe, le dénombrement cessait d'être exact dès lors que la verbalisation de la comptine intervenait. Le coût cognitif que nécessite l'énonciation verbale de la suite numérique viendrait entraver le pointage, qu'il soit manuel ou visuel.

Le principe de suite stable : dès lors que la quantité à dénombrer ne dépasse pas la partie stable et conventionnelle de sa comptine, l'enfant ne présente pas de difficultés.

Le principe de cardinalité : ce principe décrit la transformation du dernier mot prononcé, de nombre ordinal en nombre cardinal. C'est le passage d'une propriété de l'élément compté (sa place dans le dénombrement) à une propriété de la collection (la quantité d'éléments qui la compose). Les difficultés de dénombrement peuvent exister à cause d'une approche perceptive erronée (exploration spatiale et visuelle). Pour autant, le principe peut être acquis par l'enfant. Si pour une collection de 10 éléments, il en dénombre 9 et qu'à la question « combien » il répond « 9 », le cardinal est erroné mais le principe est acquis. Lors d'un second dénombrement de cette même collection, l'enfant pourra répondre « 11 ». L'enfant commet des erreurs, ses résultats sont parfois contradictoires et ne permettent pas d'acquérir des références

[139] ARP S, FAGARD J, *Habileté visuo-manuelle et utilisation du doigt dans le comptage chez l'enfant IMC*, CNRS, Laboratoire cognition et développement, 2001

quantitatives solides. Malgré un principe de cardinalité stable, la permanence du nombre ne pourra se construire.

Le principe d'abstraction : ce principe permet de ne pas tenir compte de la nature des composants de la collection, semblables ou non. Du fait qu'il n'existe pas toujours une parfaite reconnaissance de la nature exacte des objets dès qu'ils ont une ressemblance physique chez les enfants prématurés, ce principe est en général respecté.

Le principe de non pertinence de l'ordre : une mauvaise structuration de l'espace chez ces enfants rend difficile l'acquisition de ce principe. Nous l'avons vu, deux dénombrements successifs d'une même collection peuvent aboutir à deux nombres différents. La généralisation de la non pertinence de l'ordre ne peut donc s'établir. Néanmoins, dans le cadre de la paralysie cérébrale, des difficultés à ce niveau n'ont été que rarement observées.

2.1.2. Impact des troubles cognitifs sur le développement des compétences numériques

Les atteintes cérébrales consécutives à une asphyxie périnatale ou à une naissance prématurée présentent généralement des lésions diffuses. Les fonctions cognitives sont donc également susceptibles d'être altérées or, leur rôle est essentiel dans le développement des compétences numériques[140].

a. Langage, mémoire et attention

Avant d'accéder aux opérations arithmétiques, l'enfant apprend la comptine numérique. Nous l'avons vu, cette connaissance nécessite la mémorisation d'un lexique numérique mais aussi la maîtrise de règles syntaxiques. Des capacités mnésiques et un langage efficient sont donc nécessaires.

Dans le cadre de la paralysie cérébrale, ces deux fonctions, mémoire et langage, peuvent être altérées. Un tel déficit dans l'une ou l'autre des fonctions cognitives entraîne des difficultés dans le domaine de la numération (comptine, lexique, syntaxe, transcodage) et dans celui de la résolution de problèmes (compréhension de consignes). Un dysfonctionnement de la mémoire de travail, retrouvé fréquemment chez ces enfants, rend difficile la réalisation de calculs mentaux.

L'apprentissage du calcul demande à tous les stades l'intervention des fonctions attentionnelles et exécutives. Elles sont impliquées notamment dans le choix et la mise en application de stratégies. Il en

[140] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 978-2353270999, p275

résulte des erreurs de calcul et de dénombrement par un défaut de stratégie du regard ou une mauvaise organisation du comptage.

b. La logique

Comme l'a décrit Piaget, l'enfant doit posséder diverses structures logiques (classification, sériation, conservation) avant d'accéder à la notion de nombre. L'enfant paralysé cérébral est gêné dans ses expériences motrices par une mauvaise prise d'information due à une atteinte sensorielle (visuelle notamment) et par son atteinte motrice. Sa représentation de la réalité est atypique, ce qui constitue un obstacle au développement de ses structures logiques.

c. Les troubles neurovisuels

L'enfant présentant des troubles neurovisuels peut échouer lors des activités de dénombrement, de pose et de résolution d'opération à cause de troubles du regard responsables de stratégies défaillantes. Une étude approfondie de l'impact des troubles neurovisuels sur l'apprentissage des mathématiques sera présentée ultérieurement.

2.1.3. L'enfant cérébrolésé peut-il être dyscalculique ?

Fayol définit la dyscalculie comme « un trouble développemental des traitements numériques qui recouvre pour l'instant de manière relativement indifférenciée des difficultés de calcul mais aussi des déficits dans d'autres activités numériques : comptage, lecture et écriture des nombres, résolution de problèmes mais aussi la représentation de la quantité »[141].

Selon Michèle Mazeau, « la dyscalculie est définie comme un retard significatif dans les activités arithmétiques, retard authentifié par un score inférieur d'au moins deux écarts types par rapport à la norme ou un retard d'au moins deux ans par rapport à l'âge et au niveau scolaire, interférant nettement avec la réussite scolaire, chez un enfant sans déficit intellectuel ni sensoriel ».

Trois étiologies peuvent l'expliquer : elle peut avoir une origine génétique ou congénitale, une origine sociétale et enfin, elle peut être occasionnée par des défaillances du développement opératoire tel que l'a explicité Piaget. Dans le cadre de la paralysie cérébrale, la dyscalculie serait due à un dysfonctionnement du module cérébral numérique des aires pariétales.

Il existe plusieurs classifications de la dyscalculie issues, pour la plupart, de la neuropsychologie adulte.

[141] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 978-2353270999, p204

En 1974, Kosc utilise le terme « pseudo-dyscalculie » pour qualifier les troubles du calcul découlant de causes diverses, qu'il différencie de la « dyscalculie développementale vraie » isolée ou intégrée dans un ensemble plus vaste de troubles d'apprentissages. Il distingue six types de dyscalculies :

- la dyscalculie verbale : l'enfant ne peut dénommer les quantités, numéraux ou symboles,
- la dyscalculie lexicale caractérisée par des difficultés à lire les symboles mathématiques,
- la dyscalculie graphique : par ses difficultés à écrire les nombres, l'enfant paralysé cérébral peut faire partie de ce groupe,
- la dyscalculie practognosique qui s'exprime par des difficultés à manipuler les objets mathématiques que ce soit avec des objets réels ou sous forme d'images. Des répercussions vont s'observer dans les épreuves de dénombrement, de comparaison ou d'estimation de quantités ou encore de sériation. L'enfant cérébrolésé, par ses difficultés visuo-spatiales, peut appartenir à ce groupe,
- la dyscalculie idéognosique qui entraîne une incompréhension des concepts ou relations mathématiques,
- la dyscalculie opératoire qui consiste en l'impossibilité de réaliser des opérations arithmétiques.

Selon Michèle Mazeau, il existerait trois types de dyscalculies correspondant aux trois aspects différents du nombre : une dyscalculie spatiale, une dyscalculie raisonnementale (déficit d'accès aux structures logiques dont la conservation) et une dyscalculie linguistique (difficultés en lecture et écriture de mots nombres et dans l'acquisition de la comptine numérique).

L'enfant paralysé cérébral peut présenter divers troubles. La dyscalculie la plus fréquemment retrouvée est la dycalculie spatiale (ou visuo-spatiale) due en grande partie à des troubles visuo-spatiaux. Elle engendre des difficultés de numération, de pose et de résolution d'opérations, de dénombrement et de réalisation de problèmes géométriques. Ce type de dyscalculie peut s'intégrer dans un tableau clinique plus large, le syndrome de Gertsmann qui associe dyscalculie spatiale, dysgraphie, désorientation droite/gauche et agnosie digitale[142].

Il n'est donc pas rare de retrouver chez ces enfants des dyscalculies, notamment visuo-spatiales. La vision, et plus particulièrement la neurovision, contribuent à l'élaboration de la notion de nombre. Un trouble à ce niveau peut engendrer des difficultés dans l'apprentissage logico-mathématique.

[142] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p151

2.2. Impact des troubles neurovisuels sur l'apprentissage logico-mathématique dans le cadre de la PC

2.2.1. Les opérations logiques

Les opérations logiques telles que la sériation, la classification et la combinatoire sont sous la dépendance d'un traitement neurovisuel. Un trouble à ce niveau va engendrer des difficultés de construction de ces notions de base.

a. La sériation

Au cours d'un bilan logico-mathématique, il est souvent proposé aux enfants de mettre en ordre du matériel, par exemple une série de bûchettes de taille croissante. Or, les enfants qui présentent des troubles du regard ont de grandes difficultés à apprécier les tailles relatives des objets et ce, d'autant plus, lorsque les différences sont minimes.

Par ailleurs, une épreuve de sériation nécessite l'établissement d'une origine dans le cas d'un matériel spatial de type bâtons ou bandes de papier de différentes tailles, c'est-à-dire une base horizontale ou verticale stable. Sans cette référence, la disposition ordonnée est difficile à réaliser. La constitution de cette base est souvent impossible chez les sujets atteints de troubles neurovisuels.

Pour les enfants cérébrolésés, il est plus facile de sérier des objets à emboiter tels les œufs gigognes, dont les proportions relatives sont plus facilement appréciées.

b. La classification

La classification consiste à classer divers matériels selon différents critères : couleur, forme, taille … Cet exercice ne comporte pas de difficultés particulières à la condition d'éviter certaines présentations telles que les tableaux à double entrée, les tracés de traits enchevêtrés difficiles à suivre des yeux et du doigt (par exemple une flèche reliant un objet à sa catégorie). Il convient donc d'aménager la présentation des exercices.

Dans le cas d'un classement d'objets, une stratégie exploratoire inefficace peut perturber cette épreuve. En effet, l'exercice nécessite un balayage global de la collection afin de comparer les éléments et d'extraire le critère qui les unit.

c. La combinatoire

Lorsque cette tâche est proposée sous forme de tableau à double entrée, le repérage d'une intersection entre une ligne et une colonne est souvent très difficile à réaliser, voire impossible, pour l'enfant qui est atteint de troubles du regard.

2.2.2. Le nombre

a. Le dénombrement

Une perception visuelle non fiable, une organisation difficile du regard et du geste, une mauvaise coordination de plusieurs tâches simultanées, vont perturber toute activité de dénombrement[143].

Pour être pertinent et aboutir à un nombre cardinal qui qualifie précisément une collection, le comptage doit répondre à différents critères dont le premier concerne le fait de regarder et désigner (du doigt, du regard, en barrant, en coloriant, en déplaçant) chaque élément de la collection une fois et une seule, sans oubli. Cet exercice est très difficile pour un enfant présentant un trouble neurovisuel : le regard parcourt la collection de façon désorganisée, aléatoire, anarchique. C'est ainsi que certains éléments sont comptés à plusieurs reprises alors que d'autres ne sont pas vus et donc oubliés. Chaque nouvel essai conduit l'enfant à un résultat différent, ce qui va à l'encontre de l'objectif de ce type d'activité qui est de faire prendre conscience de l'invariance du nombre[144].

Dans une étude de 2004, Montaru et Camos évaluent l'exploration spatiale des adolescents IMC lors de tâches de dénombrement et constatent que leurs stratégies d'exploration spatiale sont celles d'enfants beaucoup plus jeunes. Presque tous emploient une stratégie proximale, c'est-à-dire qu'ils comptent les objets en allant d'un objet à celui le plus proche. Peu sont ceux à utiliser une stratégie périphérique qui consiste à débuter le comptage par les objets situés autour du centre pour terminer par ceux du milieu. La stratégie proximale est la plus élémentaire, vient ensuite la stratégie périphérique puis la stratégie linéaire (organisation du dénombrement selon des lignes verticales ou horizontales)[145].

Les difficultés de dénombrement sont dues à une exploration visuelle anarchique du matériel.

[143] DUQUESNE F, Dyscalculies de l'enfant IMC de la maternelle au collège, 2004, Cnefei Suresne, powerpoint
[144] MAZEAU M, LE LOSTEC C, L'enfant dyspraxique et les apprentissages, Masson, 2010, 216p, ISBN 978-2294710223, p 109
[145] REGINA C, « A l'aventure Dénombre », Mémoire Lille, 2012

b. Le subitizing

Le subitizing est un processus d'évaluation très précis et rapide pour les petites quantités. Défini comme un processus d'aperception global et immédiat, ce processus ne demande aucune coordination visuo-manuelle et ne semble relever d'aucun processus moteur apparent, contrairement au dénombrement.

L'étude menée par Arp et Fagard en 2001 avait comme hypothèse que les enfants IMC étaient moins handicapés dans le subitizing. Les épreuves ont infirmé ce postulat de départ. Les performances des enfants IMC sont inférieures à celles des enfants tout-venant du même âge à l'épreuve de subitizing[146].

L'objectif de l'étude était d'évaluer et de suivre l'évolution du subitizing (perception immédiate des petites quantités) des enfants IMC, et d'observer l'impact de leurs déficiences motrices (oculaires et visuo-manuelles) sur ce processus. Les résultats montrent que les enfants IMC présentent une limite de subitizing inférieure à celle des enfants tout-venant, c'est-à-dire que la quantité perçue immédiatement est plus faible que chez les enfants normaux. Par ailleurs, les capacités de coordination visuo-manuelle et de poursuite oculaire sont liées à la limite de subitizing, en particulier sur des dispositions canoniques, familières. En effet, lorsque la poursuite oculaire est bonne, la limite de subitizing est plus élevée. Une épreuve de subitizing ne nécessite pas de mouvement oculaire. Cependant, le lien observé entre le subitizing et la poursuite oculaire, ainsi qu'avec la coordination visuo-manuelle, pose la question de l'émergence et du développement de cette capacité. Ce processus serait acquis par un apprentissage visuel qui pourrait dépendre des capacités d'exploration visuelle. Une bonne poursuite oculaire faciliterait la perception des relations spatiales entre les éléments et améliorerait la reconnaissance des patterns canoniques. L'oculomotricité et la coordination visuo-manuelle étant déficitaires dans le cadre de la paralysie cérébrale, il est difficile pour ces enfants d'extraire les régularités spatiales des ensembles de points et d'accéder au dénombrement[147].

c. L'abstraction et l'image mentale

L'abstraction permet de recourir au nombre pour pallier l'absence des objets. Lorsque les objets sont présents, il s'agit alors d'une correspondance terme à terme. Lorsque les objets sont absents, la représentation numérique de la quantité rend inutile le dénombrement, encore faut-il des capacités d'abstraction, de symbolisation et d'image mentale[148].

---

[146] ARP S, FAGARD J, *Habileté visuo-manuelle et utilisation du doigt dans le comptage chez l'enfant IMC*, CNRS, Laboratoire cognition et développement, 2001
[147] ARP S, *Subitizing et troubles oculomoteurs chez l'enfant IMC*, Revue ANAE n°78, juin2004
[148] DUQUESNE F, Dyscalculies de l'enfant IMC de la maternelle au collège, 2004, Cnefei Suresne, powerpoint

L'imagerie mentale est impliquée dans l'élaboration de concepts et le raisonnement. Une altération des processus de traitement de l'information visuelle entraîne un déficit de la représentation visuo-spatiale et donc une diminution des capacités de raisonnement et de conceptualisation[149].

Les études sont peu nombreuses chez l'enfant. Pourtant, dans la pratique clinique, il n'est pas rare d'observer, chez des enfants présentant des troubles de l'imagerie mentale, des difficultés à comparer deux objets non présentés visuellement (par exemple : « une échelle est-elle plus grande qu'une chaise ? »).

En revanche, des travaux ont montré l'importance de la représentation visuo-spatiale des nombres dans les épreuves de calcul. Le code analogique de Dehaene et Cohen qui correspond à la représentation de la taille des nombres aurait la particularité d'être de nature visuo-spatiale. Par sa nature visuo-spatiale, cette représentation des nombres est particulièrement sensible aux troubles neurovisuels.

En 2003, Lemer & Al ont montré une altération dans les capacités de comparaison de quantités chez des patients porteurs de troubles neurovisuels, alors que les capacités à manipuler la séquence verbale restent préservées. L'enfant est alors capable de réciter les nombres mais a des difficultés à indiquer parmi deux nombres lequel est le plus grand[150].

Les troubles neurovisuels n'altèrent que certains aspects du maniement des nombres et des aptitudes au calcul. D'une manière générale, le déficit visuo-spatial altère le calcul en interférant avec l'organisation spatiale des nombres et des opérations mathématiques ou en empêchant la conceptualisation des quantités.

[149] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 978-2353270999, p280
[150] ARP S, *Subitizing et troubles oculomoteurs chez l'enfant IMC*, Revue ANAE n°78, juin2004

Chapitre II

PARTIE PRATIQUE

I. Problématique et hypothèses

Les études menées sur la paralysie cérébrale de l'enfant mentionnent plusieurs éléments qui nous amènent à nous intéresser aux fonctions neurovisuelles dans cette pathologie et à leur impact sur l'apprentissage logico-mathématique.

En premier lieu, les étiologies telles que la prématurité, le petit poids de naissance, l'anoxie ou l'hypoxie cérébrale ainsi que la leucomalacie périventriculaire, sont communes à la déficience motrice et au trouble visuel d'origine centrale.

Ensuite, une corrélation anatomique fonctionnelle existe entre la neurovision et le calcul. En effet, plusieurs régions cérébrales sont communes au traitement visuel et à celui du nombre, notamment le sillon intrapariétal.

Nous l'avons vu dans la première partie, certains troubles neurovisuels ont été déjà été décrits dans cette pathologie. De même, l'accès au nombre est plus difficile pour ces enfants.

Nous proposons ici de tester la cognition visuo-attentionnelle d'enfants cérébrolésés afin, d'une part, d'objectiver d'éventuels troubles neurovisuels et d'autre part, de déterminer un impact probable sur l'apprentissage numérique.

Notre étude vise ainsi à établir une corrélation entre les performances de ces enfants à des épreuves neurovisuelles et logico-mathématiques.

Etablir l'existence de troubles neurovisuels en lien avec un trouble d'apprentissage numérique encouragerait un dépistage précoce d'un déficit du traitement central de la vision afin d'en limiter les effets sur les apprentissages futurs, notamment en mathématiques.

Hypothèses :

1) Il existe des troubles neurovisuels chez les enfants cérébro-lésés.
2) Ces enfants présentent des difficultés dans les acquisitions logiques et numériques.
3) Les troubles neurovisuels peuvent être responsables des difficultés d'apprentissage du nombre.

II. Présentation de la population

1. Choix de la population

1.1. Critères d'inclusion

La population d'étude est composée de garçons et de filles :

- diagnostiqués comme étant porteurs de lésions cérébrales précoces et non évolutives,
- présentant une déficience motrice mais dont la motricité d'un ou des membres supérieurs est préservée,
- dont des troubles neurovisuels sont suspectés ou avérés,
- scolarisés en milieu ordinaire ou au sein d'un centre spécialisé.

Dans notre étude, nous emploierons le terme de paralysie cérébrale. La distinction IMC/IMOC ne sera pas faite compte tenu de l'hétérogénéité des tableaux cliniques de cette pathologie.

1.2. Critères d'exclusion

Sont exclus de notre étude :

- les enfants présentant une déficience mentale sévère ou profonde,
- les enfants souffrant d'une déficience motrice entraînant une paralysie des membres supérieurs,
- les enfants atteints d'une maladie neuromusculaire.

L'âge n'est pas un critère d'exclusion étant donné le faible niveau de ces enfants.

2. Recueil de la population

La population d'étude est constituée de 7 enfants paralysés cérébraux.

Pour recueillir cette population, nous nous sommes adressés à l'Institut d'Education Motrice Rossetti. La structure accueille les enfants, adolescents et jeunes adultes déficients moteurs âgés de 3 à 20 ans. L'IEM reçoit principalement des enfants atteints de paralysie cérébrale et maladies neuromusculaires.

Les enfants étudiés bénéficient tous d'une prise en charge orthophonique à l'IEM, au sein d'un SESSAD ou d'un collège.

Par souci de confidentialité, les prénoms des enfants ont été modifiés.

Tableau de présentation de la population :

Prénom	Age au moment du bilan	Sexe
Léo	8 ans 6 mois	Masculin
Maud	10 ans 1 mois	Féminin
Elodie	10 ans 2 mois	Féminin
Chloé	12 ans 4 mois	Féminin
Paul	12 ans 11 mois	Masculin
Thomas	16 ans	Masculin
Carine	16 ans 1 mois	Féminin

III. Conditions de passation

Les passations ont été effectuées individuellement, dans un espace calme et bien éclairé.

Compte tenu du nombre important d'épreuves, la passation s'est faite en deux fois pour les enfants les plus jeunes, en l'occurrence, Léo, Maud et Elodie. Les capacités d'attention et de concentration suffisantes des plus grands ont permis d'effectuer le test en une seule fois.

Chaque passation a duré entre 1h15 et 1h30.

IV. Description des épreuves

Afin d'établir une corrélation entre le trouble neurovisuel et les difficultés de construction du nombre chez l'enfant paralysé cérébral, il nous a semblé intéressant de procéder à la passation du test EVA qui explore la neurovision et d'épreuves de la B-LM et du Tedi-Math qui étudient les compétences logiques et numériques.

Le test **EVA** (Evaluation Visuo-Attentionnelle), élaboré par les chercheurs de la fondation Rotschild, vise à dépister les troubles de la cognition visuelle des enfants de 4 à 6 ans, c'est-à-dire avant l'entrée au CP et l'apprentissage du langage écrit. Cette batterie visuo-attentionnelle sert à dépister ces troubles afin de mieux les caractériser et de permettre une prise en charge précoce pour éviter un retentissement sur les apprentissages scolaires[151].

[151] Manuel EVA, p3

La connaissance et l'utilisation du nombre seront évaluées par des épreuves du **Tedi-Math** élaboré par Grégoire, Noël & Van Nieuwenhoven en 2001. Ce test propose une investigation des compétences essentielles susceptibles de jouer un rôle dans les troubles du calcul. Il est destiné aux enfants de 5 à 8 ans. Ce test étudie six domaines de compétences numériques : le comptage, le dénombrement, la compréhension du système de numération, les opérations logiques piagétiennes (évaluées uniquement en situation numérique), l'estimation des grandeurs, les opérations (évaluées avec énoncé arithmétique et énoncé verbal). Ce test repose à la fois sur la théorie de Piaget et sur le modèle neurocognitiviste de McCloskey.[152]

La **B-LM**, créée par Emmanuelle Métral en 2008, évalue très précisément les troubles du raisonnement et les difficultés d'acquisition des mathématiques dès la grande section et jusqu'à la fin du primaire. Cette batterie adopte un point de vue très piagétien dans l'évaluation du raisonnement de l'enfant. Dans le cadre de notre étude, nous utiliserons les épreuves logiques de classification, de sériation, d'inclusion, de conservation (continue et discontinue) et d'utilisation du nombre. Grâce à des repères d'âge établis pour chaque tâche, la batterie permet l'élaboration d'un profil de l'enfant afin de poser un diagnostic précis[153].

1. Batterie de dépistage des troubles neurovisuels : EVA

1.1. Matériel

Les épreuves utilisées sont issues d'une batterie de dépistage pour les enfants de maternelle. Elles sont donc brèves, de type papier/crayon, et ne requièrent pas de matériel complexe. Elles sont précédées par un prétest qui a pour but de déterminer la latéralité de l'enfant.

1.2. Epreuves de la batterie EVA

1.2.1. Epreuve de fixation et de contrôle du regard

Objectif :

Cette épreuve a pour objectif de vérifier la capacité de l'enfant à contrôler son regard, ce qui constitue un pré-requis nécessaire à tout apprentissage. Elle permet de déceler la présence d'un éventuel trouble de la statique oculaire.

[152] CHOKRON S, *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 2353270999, p219
[153] METRAL E, Manuel B-LM

Déroulement :

L'examinateur et l'enfant sont face à face. L'examinateur explique à l'enfant que le « jeu » consiste à se regarder droit dans les yeux pendant 10 secondes. L'enfant ne doit donc pas bouger les yeux pendant ce laps de temps.

Consigne :

« Je te propose un petit jeu. On va devoir se regarder dans les yeux pendant 10 secondes. On ne doit donc pas bouger les yeux. Préfères-tu que je compte ou que tu comptes ? ».

Cotation :

Aucune saccade oculaire n'est tolérée. La réussite de l'épreuve donne une note de 1, l'échec donne une note de 0.

1.2.2. Epreuve du champ visuel

Objectif :

Cette épreuve permet de déceler des amputations du champ visuel.

Déroulement :

L'examinateur se met face à l'enfant et lui explique que cette épreuve a pour but de déterminer jusqu'où il voit. Il utilise deux marqueurs qu'il dispose autour du visage de l'enfant (à 30 centimètres environ) pendant que celui-ci a les yeux fermés. L'adulte explique à l'enfant que lorsqu'il va ouvrir les yeux, il va devoir attraper le stylo sans quitter l'examinateur des yeux.

Avant de commencer le test, l'adulte propose un essai à l'enfant. S'il est concluant, il administre le test, s'il ne l'est pas, il explique à nouveau la consigne.

Les stylos sont présentés selon 6 positions différentes. Chaque position est évaluée deux fois.

Consigne :

« Ferme les yeux. Quand je te dirai, tu les ouvriras et tu me regarderas dans les yeux. Tu essaieras alors de deviner où se trouve le marqueur, et tu iras l'attraper doucement sans bouger les yeux. Pour cet exercice, tu dois être très concentré. As-tu bien compris ce que tu devais faire ? ».

Cotation :

1 point par cible détectée et attrapée, 0 point par cible non détectée. La réussite à cette épreuve permet d'exclure l'existence d'un trouble latéralisé du champ visuel.

1.2.3. Evaluation de l'extinction visuelle

Objectif :

Le but est de vérifier que la perception d'une cible dans un champ visuel n' « éteint » pas la perception de l'autre cible qui est placée dans le champ visuel controlatéral.

Déroulement :

L'examinateur dispose de deux feutres colorés. La première fois, il présente les deux, de part et d'autre du visage de l'enfant (à 30 centimètres environ des yeux), pendant que celui-ci a les yeux fermés. Il demande à l'enfant d'ouvrir les yeux et d'attraper les feutres sans détourner le regard de l'examinateur. Puis ce dernier renouvelle la même opération avec un seul feutre à droite puis un seul feutre à gauche. Pendant cette épreuve, l'examinateur veille à ce que l'enfant ne bouge ni la tête ni les yeux.

Consigne :

« Après avoir ouvert les yeux, tu fixeras mes yeux. Tout en me regardant, attrape le ou les crayons ».

Cotation :

La réussite à cette épreuve (1 point si les trois tâches sont réussies) permet également d'exclure l'existence d'un trouble latéralisé du champ visuel.

1.2.4. Epreuve de poursuite visuelle

Objectif :

Cette épreuve permet d'apprécier la qualité de la motricité oculaire. Une difficulté à ce type de tâche constitue souvent un des premiers signes de troubles neurovisuels.

Déroulement :

L'examinateur présente à l'enfant un feutre coloré placé à 30 cm de son visage. Il lui explique que le feutre va se déplacer et qu'il devra alors le suivre avec les yeux mais sans bouger la tête. L'examinateur lui montre l'exemple. L'enfant est ensuite invité à s'entraîner à suivre le feutre selon un mouvement horizontal. Si

l'essai est concluant, l'examinateur annonce à l'enfant que le feutre va maintenant bouger différemment et qu'il doit toujours le suivre avec les yeux seulement.

L'examinateur déplace le feutre coloré en suivant la forme d'un huit horizontal (le 8 part du nez et passe au niveau de chaque épaule). Le déplacement se fait à une vitesse de 10 cm par seconde environ.

Consigne :

« Maintenant je voudrais que tu suives des yeux ce crayon. Tu devras le suivre uniquement en bougeant les yeux. Tu n'auras dons pas le droit de bouger la tête. As-tu bien compris la consigne ? ».

Cotation :

On observe si l'enfant a toujours les yeux sur la cible (1 point s'il réussit, 0 s'il y a une perte de fixation), s'il bouge seulement les yeux (1 point) ou s'il bouge aussi la tête (0 point), si la poursuite est fluide (1 point) ou s'il y a un nystagmus (0 point). En cas d'échec, une appréciation qualitative doit être réalisée afin de préciser le type de difficulté que rencontre l'enfant.

1.2.5. Epreuve de mémoire visuelle des formes

Objectif :

Cette épreuve a pour but d'évaluer la qualité de l'analyse visuelle et du stockage de l'image en mémoire ainsi que l'exploration de l'espace.

Matériel :

- 2 planches d'exemple
- 8 planches de passation : 4 planches comportant des cibles, 4 planches où la cible est mêlée aux distracteurs.

Les cibles ont été choisies selon différents critères : le caractère verbalisable ou non, l'orientation et la symétrie. Ces trois critères sont représentés de façon équitable. Les distracteurs sont des formes proches de celle de la cible et pour chaque item un distracteur représente la cible dans une orientation différente. La place de la cible change à chaque item.

Déroulement :

L'examinateur prévient l'enfant qu'il va lui montrer des formes qu'il devra bien observer car elles seront ensuite cachées et il devra alors les reconnaître parmi d'autres formes. Les planches sont centrées par rapport à l'enfant.

La passation du test est précédée d'un exemple.

Consigne :

« Je vais te montrer une image que tu devras retrouver tout de suite après parmi d'autres images qui lui ressemblent beaucoup. Tu auras 7 secondes pour bien mettre cette image dans ta tête. Tu dois donc retrouver exactement la même image, la même forme et le même sens. As-tu bien compris ce qu'il fallait faire ? Ne t'inquiète pas, on va faire un exemple. ».

Cotation :

Chaque item réussi apporte 1 point (0 si l'item est échoué).

1.2.6. Epreuve de barrage de nounours

Objectif :

Les épreuves de barrage permettent d'observer l'orientation de l'attention dans l'espace. Elles testent également l'attention sélective en modalité visuelle, c'est-à-dire la capacité à extraire une cible parmi les distracteurs. Elles mettent à jour la présence ou non d'une stratégie exploratoire de l'espace.

Matériel :

- 1 feuille de passation de format A4 où sont présentés 75 éléments figuratifs d'objets connus et aimés de l'enfant. Ceux-ci sont disposés en 15 colonnes de 5 éléments. L'objet cible est un nounours qui apparaît 15 fois sur la feuille,
- 1 feuille de contrôle destinée à l'examinateur, pour noter l'ordre dans lequel l'enfant barre les cibles, et sur laquelle ne figurent que les nounours,
- 1 feuille de démonstration représentant un nounours agrandi et barré,
- 1 feutre,
- 1 chronomètre que l'on déclenche dès que l'enfant barre la première cible.

Consigne :

« Barre le plus rapidement possible tous les nounours que tu vois sans en oublier. Dis-moi quand tu as fini. »

Déroulement :

L'examinateur montre la feuille de démonstration pour que l'enfant identifie la cible. Il place ensuite la feuille de passation devant l'enfant de façon centrale et positionne sa feuille de contrôle. Il déclenche le chronomètre lorsque l'enfant pose le stylo sur sa feuille. Si l'enfant s'arrête avant d'avoir barré toutes les

cibles, l'adulte lui demande s'il a terminé. L'épreuve se termine lorsque l'enfant dit qu'il a fini : l'examinateur arrête alors le chronomètre.

Cotation :

Points selon l'emplacement des cibles :

Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5
A1 (-1)	A2 (-1)	A3 (0)	A4 (+1)	A5 (+1)
B1 (-1)	B2 (-1)	B3 (0)	B4 (+1)	B5 (+1)
C1 (-1)	C2 (-1)	C3 (0)	C4 (+1)	C5 (+1)

Eléments à retenir et cotation :

Eléments à retenir pour l'analyse des résultats	**Score**
Score de nounours barrés	Score maximum : /15
L'emplacement du premier nounours barré	Entre -1 et +1
L'emplacement des 3 premiers nounours cochés	Entre -3 et +3
Le nombre de cibles omises et leur emplacement	Entre 0 et 15
Le nombre de fausses alarmes	Entre -6 et +6
Le temps de réalisation de l'épreuve en secondes	….. sec

A l'âge de 6 ans, le temps de réalisation de l'épreuve est de 58,40 secondes pour un garçon et 52,54 secondes pour une fille.

1.2.7. Epreuve de barrage des « A »

Objectif :

L'objectif est le même que celui du test de barrage des nounours. Seul le matériel utilisé diffère.

Matériel :

- 1 feuille de passation de format A4 verticale en noir et blanc et comprenant 15 cibles (lettres « A » orientées à la verticale, de façon conventionnelle) à retrouver parmi 45 distracteurs. Les distracteurs sont de 4 sortes : des « A » orientés différemment selon une rotation de 45°, 90°, 270°, 315°. Les cibles sont réparties en 10 lignes et 6 colonnes,
- 1 feuille d'essai de 2 lignes pour tester la compréhension de la consigne,
- 1 feutre,

- 1 chronomètre.

Déroulement :

L'examinateur présente la feuille d'essai à l'enfant et lui demande s'il reconnaît la lettre qui y figure. Puis il lui demande de barrer tous les « A » qui sont identiques au modèle. Si la consigne est comprise, l'adulte présente la feuille de passation dans le sens vertical, bien centrée. Il demande à l'enfant de procéder de la même façon que pour la feuille précédente. Il déclenche le chronomètre lorsque l'enfant pose le feutre sur la feuille. Si l'enfant s'arrête avant d'avoir barré toutes les cibles, l'adulte lui demande s'il a terminé. L'épreuve s'achève lorsque l'enfant dit qu'il a fini : l'examinateur arrête alors le chronomètre.

Consigne :

« Est-ce que tu reconnais cette lettre ? Il faut barrer le plus rapidement possible tous les « A » qui sont pareils que celui-là (pointer le A cible). Tu me diras quand tu auras fini. On va d'abord faire un essai avec cette feuille (présenter la feuille d'essai). »

Cotation :

Pour l'analyse des résultats, on retient les éléments suivants :

- le nombre de cibles barrées (1 point pour chaque item cible barré),
- le nombre de fausses alarmes corrigées ou non,
- l'emplacement des omissions,
- le temps de réalisation de l'épreuve en secondes. A l'âge de 6 ans, le temps de réalisation de l'épreuve est de 88,08 secondes pour un garçon et de 82,58 secondes pour une fille.

1.2.8. Epreuve des figures enchevêtrées

Objectif :

Elle permet de tester la qualité de l'analyse visuelle et de détecter une éventuelle simultagnosie.

Elle évalue également la perception et la discrimination des afférences élémentaires (forme, taille, discrimination fond/forme).

Matériel :

- 1 feuille d'essai comportant 2 figures enchevêtrées,
- 6 feuilles de passation comportant 2 à 6 figures enchevêtrées,
- 1 feuille de cotation pour l'examinateur.

Déroulement :

Les planches sont présentées verticalement à l'enfant, l'une après l'autre. L'examinateur demande à l'enfant : « Dis-moi tous les objets que tu reconnais sur le dessin que je place devant toi. »

La planche d'essai sert à vérifier que l'enfant a bien compris la consigne.

Les planches suivantes sont réalisées sans aide, cependant, l'examinateur doit relancer l'enfant en lui demandant s'il ne voit pas autre chose.

Après la planche de test, l'examinateur présente directement la planche comprenant 6 items. Si l'enfant réussit à dénommer tous les dessins sur cette planche, l'épreuve est réussie et les autres planches ne sont pas présentées. S'il échoue, l'adulte lui présente les autres planches. Si l'examinateur a un doute sur la perception de la forme, il demande à l'enfant de faire le tour du dessin avec le doigt.

Cette épreuve n'est pas chronométrée.

On note l'ordre dans lequel les images sont reconnues ainsi que les productions de l'enfant.

Consigne :

« Dis-moi tous les objets que tu reconnais sur le dessin que je place devant toi. »

Cotation :

On attribue un point par item dénommé. Si la planche la plus complexe est réussie d'emblée, on attribue directement 23 points. Les synonymes et les mots du même champ lexical sont acceptés.

1.2.9. Epreuve d'appariement de formes

Objectif :

Cette épreuve permet d'évaluer l'attention sélective et l'analyse visuelle.

Matériel :

9 feuilles de passation, dont une à titre d'exemple, comportant 9 items à apparier.

Les 8 items de test répondent tous à trois critères répartis de façon équitable : caractère verbalisable ou non, symétrie et orientation.

Pour chaque item, le modèle est présenté soit à gauche, soit à droite et la place de la cible parmi les distracteurs varie.

Déroulement :

Les feuilles de passation sont présentées horizontalement à l'enfant et de façon centrale. La feuille d'exemple est présentée en premier.

L'examinateur montre une forme à l'enfant. Ensuite, l'enfant doit lui montrer parmi les autres formes celle qu'on lui a présentée initialement (elle doit être dans le même sens et de la même couleur). Pendant toute la durée de l'épreuve, l'enfant a sous les yeux le modèle de la forme à apparier.

L'épreuve n'est pas chronométrée.

L'examinateur note les réponses de l'enfant ainsi que les distracteurs choisis en cas d'erreur. Le comportement de l'enfant face à cette épreuve est aussi relevé.

Consigne :

« Je vais te montrer une image et tu devras la retrouver parmi d'autres images. Attention cette forme doit être dans le même sens et de la même couleur, elle doit donc être exactement pareille. »

Cotation :

1 point est attribué par réponse correcte.

1.3. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires visent à écarter certains troubles présents dans la pathologie de la paralysie cérébrale et pouvant avoir un impact sur les épreuves neurovisuelles et logico-mathématiques.

1.3.1. Distinction droite/gauche et schéma corporel

Objectif :

Cette épreuve permet d'apprécier la connaissance de l'enfant de son corps et de tester la distinction droite/gauche. L'ajout de ce test semble intéressant dans la mesure où l'enfant paralysé cérébral présente des difficultés motrices plus ou moins importantes qui peuvent entraîner un trouble du schéma corporel.

Déroulement :

L'examinateur demande à l'enfant de montrer une partie du corps située à droite ou à gauche.

Cotation :

1 point est attribué à chaque épreuve réussie.

1.3.2. Praxies

Objectif :

L'objectif de cette épreuve est d'écarter l'hypothèse d'une éventuelle dyspraxie non constructive, idéatoire ou idéomotrice.

Déroulement :

L'examinateur demande à l'enfant de réaliser des gestes sur ordre oral, de la main droite et de la main gauche.

Cotation :

2 points sont attribués à chaque praxie correctement réalisée des deux mains. Lorsque la praxie demandée spécifie la latéralité, chaque réussite vaut 1 point.

1.3.3. Perception des couleurs

Objectif :

L'objectif est de tester la connaissance des couleurs. La réussite à ce test permet d'éliminer une agnosie des couleurs.

Matériel :

- 8 jetons de couleur : 2 jaunes, 2 verts, 2 bleus et 2 rouges,
- 1 feuille de passation.

Déroulement :

L'épreuve se déroule en deux temps. Dans un premier temps on demande à l'enfant de dénommer les couleurs, dans un second temps d'apparier les jetons de même couleur.

Cotation :

1 point est attribué à chaque réussite, la dénomination et l'appariement sont notés sur un total de 4 points.

1.3.4. Imagerie mentale

Objectif :

Cette épreuve permet de tester la qualité de la représentation visuo-spatiale du sujet qui va avoir un impact sur ses capacités de conceptualisation et de raisonnement.

Déroulement :

L'examinateur pose huit questions orales à l'enfant. Ses questions portent sur la couleur d'un objet et sur des comparaisons de taille entre deux éléments. Par exemple : « quelle est la couleur d'un citron ? » ou « Est-ce qu'un éléphant est plus grand qu'une souris ? ».

Cotation :

1 point est attribué à chaque réussite.

2. Test des compétences de base en mathématiques

Les épreuves suivantes évaluent les capacités logiques, la connaissance du nombre et son utilisation.

2.1. Les capacités logiques (B-LM)

2.1.1. La sériation

Objectifs :

- évaluer le niveau de sériation de l'enfant à travers une tâche de manipulation puis de raisonnement verbal,
- vérifier si l'enfant est en mesure de gérer les relations d'ordre,
- vérifier comment il s'organise pour gérer ces relations d'ordre.

Matériel : 9 bâtons rouges

Consignes :

On donne à l'enfant les 8 bâtons, « Voici 8 bâtons de tailles différentes. Je voudrais que tu les ranges dans l'ordre ». Deux cas de figure peuvent alors se présenter :

- Si l'enfant échoue, on effectue la sériation devant lui en disant : « tu vois, j'ai fabriqué un escalier » en pointant chaque marche. « Je défais mon escalier et je te demande de refaire le même, à toi ! ».
- S'il réussit l'épreuve, on ajoute un bâton en disant : « J'ai oublié de te donner celui-là, est ce que tu peux le ranger ? ».

Lorsque la sériation est effectuée, on pose alors les cinq questions suivantes :

- « Montre-moi ce qui est plus grand que le 4ème bâton »
- « Montre-moi ce qui est plus petit que le 5ème bâton »
- « Montre-moi ce qui est plus petit que le 3ème bâton »
- « Montre-moi ce qui est plus petit que le 6ème bâton »
- « Si on avait plus de bâton, est ce qu'on pourrait savoir combien sont plus petit que le 12ème bâton ? »

Cotation :

99-101	5 dés. Correctes
96-98	
93-95	
90-92	
87-89	4 dés. Correctes
84-86	
81-83	
78-80	3 dés. Correctes
75-77	
72-74	
69-71	
66-68	
63-65	
60-62	2 dés corr
âge en mois	**Sériation baguettes**

2.1.2. La classification

Objectifs :

- déterminer le niveau de classification de l'enfant,
- vérifier qu'il est capable d'extraire un critère de classification du matériel en faisant momentanément abstraction des deux autres,
- vérifier la mobilité de pensée à travers la capacité à changer de critère de classification.

Matériel : 18 jetons qui diffèrent selon leur couleur (bleu, rouge, jaune), leur taille (grand, petit), et leur forme (rond, carré, triangle).

Consignes :

« Voici des jetons, ils sont tous mélangés. Je vais te demander de les ranger, mets ensemble ce qui va bien ensemble ».

On note la production de l'enfant :

- les collections sont figurales,
- deux critères de classification sont utilisés simultanément (par exemple les critères couleur et forme), on demande alors à l'enfant « Peux-tu faire moins de tas ? »,
- la classification est effectuée selon un critère, on pose les questions suivantes « Tu les as rangé comment ? » et « Tu les as rangé par … ».

Dans un second temps, on ne touche pas au premier classement de l'enfant et on lui demande : « Maintenant, est ce que tu peux ranger ces jetons autrement, toujours en mettant ensemble ce qui va bien ensemble ? ».

Comme précédemment on note la production de l'enfant et on observe sa capacité à changer de critère.

Enfin, tout en laissant en place le second classement, on lui demande : « As-tu une autre idée ? »

Après avoir noté la production de l'enfant, on observe là aussi sa capacité à changer une seconde fois de critère.

Cotation :

99-101	isole 3 critères
96-98	isole 2 critères
93-95	
90-92	isole 1 critère
87-89	
84-86	
81-83	
78-80	
75-77	
72-74	
69-71	classe selon 2 critères
66-68	
63-65	
60-62	
âge en mois	**Classification jetons**

2.1.3. La conservation

a. La conservation des quantités discontinues

Objectifs :

- évaluer l'utilisation opérationnelle de la correspondance terme à terme,
- évaluer la conservation des quantités discontinues,
- vérifier si l'enfant est dépendant de sa perception,
- vérifier l'assurance de son raisonnement à travers la contre-suggestion.

Matériel : 10 fleurs et 20 coccinelles

Déroulement et questions :

Demander à l'enfant de fermer les yeux et installer devant lui, de manière linéaire, les 10 fleurs. Disposer les coccinelles en tas à portée de main.

« Voici des fleurs et voici des coccinelles. Une coccinelle se pose sur chaque fleur, à toi de les faire voler ». L'enfant doit donc disposer une coccinelle par fleur en correspondance terme à terme. On range alors les coccinelles excédentaires.

On note la production de l'enfant :

- la distribution des coccinelles est-elle aléatoire ou ordonnée ?
- la correspondance terme à terme est-elle respectée ou incorrecte ?

Lorsque la correspondance terme à terme est respectée, on poursuit l'épreuve, si elle est incorrecte on rétablit cette correspondance avant de continuer.

La suite de l'épreuve teste l'utilisation opérationnelle de la correspondance terme à terme. On demande à l'enfant « Peux-tu dire s'il y a plus de fleurs ou plus de coccinelles ? », « Comment le sais-tu ? ».

On note les stratégies de l'enfant :

- l'enfant compte-t-il pour répondre ?
- répond-il de manière erronée sans compter ?
- répond-il correctement sans compter ?

Afin d'évaluer la conservation des quantités discontinues, on dit à l'enfant « Les coccinelles s'envolent et se regroupent », on resserre les coccinelles en un tas sous la première fleur. « Peux-tu me dire s'il y a plus de fleurs ou plus de coccinelles ? », « Comment le sais-tu ? »

Les productions de l'enfant peuvent être de quatre types :

- l'enfant produit une réponse perceptive, il n'est pas conservant,
- l'enfant dénombre une ou les deux collections, il n'est pas conservant,
- l'enfant est conservant mais sans que sa justification soit correcte,
- la conservation est acquise avec une justification correcte.

Chez l'enfant conservant, afin de vérifier l'assurance de son raisonnement, on utilise la contre-suggestion : « Certains enfants pensent que comme ça il y a moins de coccinelles. Qu'en penses-tu ? »

Chez l'enfant non conservant, on demande « Que faudrait-il faire pour avoir pareil de fleurs et de coccinelles ? ». On note alors la réponse de l'enfant : le plus souvent, il va proposer d'ajouter ou d'enlever des éléments ou va proposer une rétro-action, c'est-à-dire de remettre une coccinelle sur chaque fleur.

Cotation :

99-101	cons justifiée
96-98	Conservation sans justification
93-95	
90-92	
87-89	identité collections terme à terme
84-86	
81-83	
78-80	
75-77	non identité collections en terme à terme
72-74	
69-71	
66-68	
63-65	
60-62	
âge en mois	**Conservation coccinelles**

b. La conservation des longueurs

Objectifs :

- évaluer la conservation des longueurs,
- observer si l'enfant est dépendant de sa perception,
- vérifier l'assurance de son raisonnement à travers les contre-suggestions.

Matériel : 2 baguettes de longueur identique

Déroulement et questions : demander à l'enfant de fermer les yeux et installer devant lui les deux baguettes collées. Puis on lui demande : « Y a-t-il une baguette plus longue que l'autre ? », « Comment le sais-tu ? ».

Les stratégies de l'enfant peuvent être de trois types, l'enfant effectue,

- une vérification manuelle de l'alignement,
- une vérification visuelle de l'alignement à chaque extrémité,
- une vérification visuelle globale de l'alignement.

On sépare ensuite les baguettes de 5 cm tout en laissant leurs extrémités bien alignées. « Et maintenant, y a-t-il une baguette plus longue que l'autre ? », « Comment le sais-tu ? ».

On note la production de l'enfant :

- non conservation avec vérification manuelle de l'alignement,
- non conservation avec vérification visuelle de l'alignement,
- conservation sans justification correcte,
- conservation avec justification correcte.

A l'enfant non conservant, on pose une dernière question avant d'arrêter l'épreuve : « Que faudrait-il faire pour avoir deux baguettes grandes pareil ? ». Le plus souvent l'enfant propose une rétroaction, c'est-à-dire de redisposer les baguettes dans la position initiale.

Pour l'enfant conservant, l'épreuve se poursuit. On décale une baguette en la poussant de 5 cm. « Et maintenant y a-t-il une baguette plus longue que l'autre ? », « Comment le sais-tu ? ».

On observe :

- une non conservation,
- une conservation sans justification correcte,
- ou une conservation avec justification correcte.

Pour l'enfant non conservant l'épreuve s'arrête. Pour l'enfant conservant, on teste l'assurance de son raisonnement par la contre-suggestion : « Certains enfants pensent que comme ça, cette baguette est plus grande que l'autre, qu'en penses-tu ? ».

Certains enfants renoncent à la conservation, d'autres hésitent, les enfants conservants maintiennent la conservation.

On dispose ensuite les baguettes en T, « Et maintenant y a-t-il une baguette plus longue que l'autre ? », « Comment le sais-tu ? ». Les observations à faire sont les mêmes que précédemment (non conservation, Conservation sans justification correcte ou avec justification correcte).

La dernière question est une contre-suggestion : « Certains enfants pensent que comme ça, cette baguette (la barre verticale du T) est plus grande que l'autre, qu'en penses-tu ? ». On note si l'enfant renonce à la conservation, hésite ou maintient la conservation.

Cotation :

99-101	cons décalage
96-98	conservation T
93-95	
90-92	
87-89	
84-86	
81-83	
78-80	conservation écart
75-77	
72-74	
69-71	
66-68	
63-65	
60-62	non cons écart
âge en mois	**Conservation baguettes**

2.1.4. L'inclusion

Cette épreuve issue de la BLM n'est pas effectuée dans sa totalité. En effet, les difficultés praxiques nous ont conduits à supprimer l'épreuve du dessin.

Objectifs :

- évaluer le niveau d'inclusion de l'enfant à travers une tâche de verbalisation,
- vérifier les sous-classes,
- vérifier la mise en œuvre de la classe complémentaire.

Déroulement et questions :

On décrit tout d'abord le dessin à l'enfant : « Sur cette feuille il y a 10 fleurs en tout. Parmi ces 10 fleurs, il y a 6 tulipes en tout. Et parmi ces 6 tulipes, il y a 2 tulipes rouges ».

Puis on lui demande : « Combien y a-t-il de fleurs en tout ? »

Si l'enfant ne donne que le nombre de fleurs non tulipes, on lui pose les questions suivantes : « Est-ce que les tulipes sont des fleurs ? », « Est ce que toutes les fleurs sont des tulipes ? », « Combien y a-t-il de fleurs en tout ? ». Chaque réponse de l'enfant doit être justifiée.

Que les réponses soient correctes ou non, ainsi que dans le cas où l'enfant a bien répondu à la première question, on poursuit l'épreuve avec la deuxième question: « Combien y a-t-il de tulipes en tout ? ».

Si l'enfant ne donne que le nombre de tulipes non rouges, on lui pose les questions suivantes : « Est-ce que les tulipes rouges sont des tulipes ? », « Est-ce que toutes les tulipes sont des tulipes rouges ? », « Combien y a-t-il de tulipes en tout ? ». Chaque réponse de l'enfant doit être justifiée.

Que les réponses soient correctes ou non et dans le cas où l'enfant a bien répondu à la seconde question, on poursuit avec la dernière question : « Combien y a-t-il de tulipes rouges ? ».

L'analyse des réponses de l'enfant permet d'affirmer s'il possède la capacité logique d'inclusion.

Cotation :

99-101	inclusion
96-98	
93-95	
90-92	
87-89	
84-86	
81-83	
78-80	
75-77	
72-74	
69-71	
66-68	
63-65	
60-62	
âge en mois	**Inclusion fleurs**

2.2. Le nombre

2.2.1. Comptage (Tedi-Math)

Objectifs : les épreuves de comptage permettent d'évaluer le degré de maîtrise de la séquence numérique verbale. On demande à l'enfant de compter le plus loin possible, jusqu'à une borne donnée, à partir d'une borne donnée, dans un intervalle déterminé, par pas de deux et de dix et à rebours. A l'aide de ces épreuves, il est possible de déterminer le niveau d'acquisition et d'élaboration de la chaîne numérique.

Matériel : aucun matériel n'est nécessaire.

a. Compter le plus loin possible

Consignes : « Peux-tu compter le plus loin possible ? Vas-y ». Si l'enfant ne démarre pas, une amorce de deux éléments au maximum lui est fournie : « 1, 2, à toi ». On arrête l'enfant lorsqu'il parvient à 31. Si l'enfant s'est trompé, un second essai lui est accordé.

Notation : on note la séquence produite par l'enfant et on attribue 2 points pour une réussite au premier essai, 1 point pour une réussite au second essai.

b. Compter avec une borne supérieure

Consignes : « Peux-tu compter jusqu'à 9 (item 1), jusqu'à 6 (item 2) ? ». Aucune amorce ne peut être fournie.

Notation : on note les deux séquences produites par l'enfant et si la borne d'arrêt est respectée. Un point est attribué lorsque l'item est réussi.

c. Compter avec une borne inférieure

Consigne : « Peux-tu compter à partir de 3 (item 1), de 7 (item 2) », on arrête l'enfant à 10 pour l'item 1 et à 15 pour l'item 2.

Notation : on note les deux séquences produites par l'enfant et si la borne de démarrage est respectée. Un point est attribué à chaque item réussi.

d. Compter avec une borne inférieure et une borne supérieure

Consigne : « Peux-tu compter de 5 à 9 (item 1), de 4 à 8 (item 2) ? », aucune amorce ne peut être fournie.

Notation : on note les deux séquences produites par l'enfant et si les bornes de démarrage et d'arrêt sont respectées. Un point est attribué à chaque item réussi.

e. Compter à rebours

Consignes : « Maintenant, on va compter à l'envers. On va faire comme si on faisait décoller une fusée. Peux-tu compter à l'envers en commençant à 7 (item 1), à 15 (item 2) ? ». Une amorce est possible si l'enfant ne démarre pas la séquence.

Notation : on note la séquence produite par l'enfant et si une amorce a été nécessaire. Un point est attribué à chaque item réussi. L'item est réussi lorsque l'enfant a démarré la séquence par 6 ou 7 et par 14 ou 15.

f. Compter par pas

Consignes : « Maintenant on va compter d'une autre façon, on va compter par 2 (item1), par 10 (item 2). Vas-y, compte … ». Si l'enfant ne démarre par, on amorce le comptage avec deux éléments au maximum. On arrête l'enfant lorsqu'il est parvenu à 12 (item 1), à 90 (item 2).

Notation : on note les erreurs produites dans chacune des deux séquences. Un point est attribué à chaque item réussi. La séquence doit être énoncée de manière fluide, sans que les nombre intermédiaires soient récités à voix basse.

2.2.2. Le dénombrement

Objectifs :

Afin de déterminer si le dénombrement est satisfaisant, et si tel n'est pas le cas de déterminer l'origine précise des erreurs produites, on procède à la validation des **principes de Gelman** :

- **principe de correspondance terme à terme** : il peut s'avérer incorrect en raison d'une difficulté d'exploration ou d'une difficulté de coordination oro-manuelle,
- **principe d'ordre stable** : préciser si la chaîne numérique est correcte ou non,
- **principe de cardinalité** : on vérifie que l'enfant a compris que le dernier mot-nombre énoncé représente l'ensemble de la collection. Il est correct si l'enfant répond uniquement par le dernier mot-nombre. Si l'enfant compte à voix haute « 1 2 3 4 5 6 7 », il est nécessaire de lui reposer la question « Alors, il y a combien de …. ? ». Le principe est respecté si l'enfant répond « 7 », il ne l'est pas si l'enfant recompte à voix haute « 1 2 3 4 5 6 7 »,
- **principe d'abstraction** : on s'assure que l'enfant peut considérer un ensemble d'éléments hétérogènes comme un tout,
- **principe de non pertinence de l'ordre** : on vérifie que l'enfant conserve le cardinal de la collection, peu importe l'élément qu'il dénombre en premier.

a. Dénombrement de patterns linéaires (Tedi-Math)

Matériel : une feuille présentant 9 lapins alignés et une feuille présentant 6 lions alignés

Consignes : on pose la feuille devant l'enfant et on lui demande :

- item 1 et 4 : « Peux-tu compter tous les lapins/lions ? »,
- item 2 et 5 : « Combien y a-t-il de lapins/lions en tout ? »,

- item 3 : « Tu viens de compter x lapins, combien aurais-tu compté de lapins si tu avais commencé par celui-là ? (en désignant le dessin opposé à celui par lequel l'enfant a commencé son premier comptage) ». La réponse de l'enfant doit être justifiée.
- item 6 : « Tu viens de compter x lions », on cache la planche, « J'ai caché combien de lions ? ».

On note pour les items 1et 4, si la séquence de comptage, le pointage (du doigt ou du regard) et la coordination des deux sont corrects. On note la réponse aux items 2 et 5 et si un recomptage est nécessaire. Enfin on observe si la réponse aux items 3 et 6 est identique à celle des items 2 et 5 et si la justification de cette réponse est correcte.

Cotation :

- item 1 et 4 : 1 point pour chaque item si la procédure de dénombrement est correcte,
- item 2 et 5 : 1 point pour chaque item si le cardinal est le même que celui donné à l'item 1 (même incorrect) sans recomptage de la collection et 0 point si l'enfant a recompté la collection,
- item 3 et 6 : 1 point si la réponse est identique à la précédente suivie d'une justification correcte. Aucun point n'est attribué si l'enfant ne peut pas justifier sa réponse, s'il fournit une justification incorrecte ou s'il recompte.

b. Dénombrement de patterns aléatoires (Tedi-Math & BLM)

Epreuves du Tedi-Math

Matériel : une feuille présentant 12 tortues dispersées et une feuille présentant 5 requins dispersés

On pose la feuille devant l'enfant et on lui demande :

- item 1 (tortues) et item 3 (requins): « Peux-tu compter toutes les tortues / tous les requins ? »,
- item 2 (tortues) et item 4 (requins) : « Combien y a-t-il de tortues/requins en tout ? ».

On note, pour les items 1 et 3, si la séquence de comptage, le pointage (du doigt ou du regard) et la coordination des deux sont corrects. On note les réponses de l'enfant aux items 2 et 4 et si un recomptage est nécessaire.

Cotation :

- items 1 et 3 : 1 point pour chaque item si la procédure de dénombrement est correcte,
- items 2 et 4 : 1 point si le cardinal est le même que celui donné aux items 1 et 2 (même incorrect), sans recomptage de la collection et 0 point si l'enfant a recompté.

Epreuve de la B-LM

Matériel : une planche avec des gommettes roses

Consigne : « Combien y a-t-il de jetons roses ? »

Observation des stratégies de l'enfant :

- absence de dénombrement : l'enfant donne un nombre au hasard,
- reconnaissance : l'enfant reconnaît les constellations de gommettes et n'a donc pas recours au dénombrement (subitizing),
- pointage digital : l'enfant dénombre les gommettes en les pointant une à une avec son doigt,
- pointage visuel : l'enfant dénombre les gommettes uniquement avec ses yeux et n'a donc pas recours au doigt,
- algorithme : l'enfant compte les gommettes de 2 en 2 ou de 3 en 3 en procédant à des regroupements,
- calcul : l'enfant dénombre des groupes de gommettes qu'il additionne ensuite.

L'enfant peut rencontrer les difficultés suivantes :

- exploration incomplète : l'enfant a oublié de dénombrer une ou plusieurs gommettes,
- exploration redondante : une ou plusieurs gommettes ont été comptées deux fois (ou plus),
- erreur de coordination oro-manuelle : l'enfant a bien pointé (manuellement ou visuellement) toutes les gommettes mais la correspondance gommette/mot nombre n'a pas toujours été établie. La chaîne numérique a été décoordonnée du pointage en étant en avance ou en retard sur celui-ci,
- chaîne numérique incorrecte : l'enfant a bien pointé (manuellement ou visuellement) toutes les gommettes mais la chaîne numérique qui était associée à son pointage était incorrecte,
- calcul incorrect : l'enfant a souhaité procéder par regroupement et calculs additifs mais a commis une erreur de calcul.

c. Abstraction de la qualité des objets comptés (Tedi-math)

Matériel : une feuille présentant 2 lions et 3 tortues.

Consignes : « Peux-tu compter tous les animaux ? », puis « Combien y a-t-il d'animaux en tout ? ».

On note la réponse à la seconde question uniquement si un recomptage est nécessaire. On observe également si la séquence de comptage, le pointage (du doigt ou du regard) et la coordination des deux sont corrects.

Cotation :

On attribue 1 point si la procédure de dénombrement est correcte et que le cardinal est le même que celui donné à la première question (même incorrect). Aucun point n'est attribué si l'enfant a recompté la collection suite à la seconde question.

2.2.3. Le subitizing

Objectif :

L'objectif de cette épreuve est de tester les capacités de l'enfant à quantifier très rapidement une collection, sans recours au dénombrement, lorsque la disposition spatiale des objets est canonique. La reconnaissance immédiate de cette configuration canonique est normalement employée dans la détermination de la cardinalité des petites collections.

Matériel : 8 planches cartonnées sur lesquelles figurent deux ensembles de points en configuration canonique identique à celle des dés.

Consigne : « Combien y a-t-il de gommettes en tout ? ».

Cotation : 1 point est attribué si la quantification est effectuée par subitizing, 0 point si l'enfant utilise le dénombrement.

2.2.4. L'estimation globale (tedi-math)

a. Comparaison de patterns de points dispersés

Objectifs :

Cette épreuve vise à tester les capacités non verbales de l'enfant à estimer des ensembles de points dispersés, en vue de comparer la numérosité des collections. La présentation de la planche est limitée à 1 seconde. Cette limite de temps rend impossible tout dénombrement. Deux items portent sur des petites quantités inférieures à 4 éléments, permettant de déterminer de manière exacte et instantanée la numérosité de la collection. Deux items comparent de larges collections qu'on ne peut que estimer dans un intervalle d'une seconde. Enfin, deux autres items comparent des quantités inférieures et supérieures à quatre éléments. Une difficulté dans cette épreuve pourrait signaler la présence d'un déficit perceptif.

Matériel : 6 feuilles cartonnées sur lesquelles sont dispersées deux ensembles de gommettes.

Consigne : « Sur la feuille il y a des points, je vais te les montrer et j'aimerais que tu les regardes bien. Y avait-il plus de points là (montrer le côté gauche de la feuille) ou ici (montrer le côté droit) ? ».

Cotation : 1 point si la comparaison est réussie, 0 en cas d'échec. L'épreuve est notée sur 6.

b. Grandeur relative

Objectifs :

Cette épreuve évalue l'accès à la quantité à partir du système numérique arabe. La tâche de l'enfant est d'estimer, parmi les deux nombres proposés, celui qui se rapproche le plus de la cible. Les items sont présentés pendant trois secondes de manière à éviter une réponse basée sur des procédures de calcul. Il s'agit de voir si l'enfant est capable d'estimer la quantité représentée par des nombres arabes et s'il peut ensuite comparer les distances entre ces représentations.

Matériel : 12 feuilles cartonnées sur lesquelles figurent, en chiffres arabes, un nombre-cible et deux autres nombres.

Consigne : « Je vais te montrer 3 nombres. Deux sont placés en dessous et un est placé au dessus. Peux-tu me dire lequel de ces deux nombres est le plus proche, le plus près de ce nombre-ci ? (montrer le nombre du dessus) ».

Cotation : 1 point si la comparaison est réussie, 0 en cas d'échec. L'épreuve est notée sur 12.

2.3. L'utilisation du nombre (B-LM)

Objectifs :

- évaluer l'utilisation opérationnelle du nombre,
- évaluer la capacité à ajuster une stratégie d'utilisation du nombre en fonction de changements de situations.

Matériel :

- 8 cartes « bonhomme de neige »,
- 1 boîte « magasin » avec 20 cartes « chapeau »,
- 1 boîte magasin avec 25 cartes « balai »,
- 1 boîte magasin contenant 30 yeux,
- 1 boîte magasin contenant 30 jetons représentant les boutons.

Consignes et observations :

Les cartes « bonhomme de neige sont disposées devant l'enfant de manière non linéaire. Les boîtes magasins sont disposées sur une table éloignée du bureau, depuis laquelle le bureau n'est pas visible. « Voici des bonhommes de neige, tu vas terminer de les habiller ».

Consigne 1 : « Tu vas aller au magasin qui se trouve là-bas et rapporter pour eux juste ce qu'il faut de chapeaux ».

Observations : on note seulement la stratégie utilisée. Toute erreur de dénombrement sera relevée mais si l'enfant dénombre les deux collections (bonhommes et chapeaux), sa stratégie sera validée.

- L'enfant part sans compter : il n'a pas recours au nombre et part au magasin sans dénombrer les bonhommes de neige. Il prend alors un chapeau, un nombre de chapeaux au hasard ou tous les chapeaux.
- L'enfant dénombre une collection et pas l'autre : il a l'intuition que le nombre peut lui être utile pour réaliser cette tâche mais il procède de manière incomplète. Il part au magasin sans dénombrer les bonhommes puis compte les chapeaux qu'il rapporte ou bien compte les garçons et rapporte une poignée de chapeaux.
- L'enfant dénombre les deux collections mais de manière incorrecte : il a la bonne stratégie mais une erreur de dénombrement vient interférer dans la réalisation de sa tâche. L'utilisation du nombre sera néanmoins validée comme étant opérationnelle, l'erreur commise ayant une autre origine (dénombrement).
- L'enfant dénombre les deux collections correctement et rapporte le bon nombre de chapeaux : l'enfant a la bonne stratégie et celle-ci est parfaitement efficace.

Quel que soit le nombre de chapeaux rapportés, on demande à l'enfant de les distribuer aux bonhommes. Si l'enfant a commis une erreur, on ne le laisse pas refaire un voyage pour la corriger et on passe à la consigne suivante.

Consigne 2 : « Tu vas maintenant retourner au magasin et rapporter juste ce qu'il faut de balais, chaque bonhomme porte un balai ». Si l'enfant a échoué à la consigne précédente, on lui précise « Pour les chapeaux, tu en as rapporté en trop (ou en moins), comment vas-tu faire pour rapporter juste ce qu'il faut de balais ? ». En cas de réussite à la consigne 1, seule la première question est posée.

Observations des stratégies de l'enfant :

- Il dénombre à nouveau les bonhommes de neige (non-conservation du nombre utilisé pour les chapeaux), la stratégie est adaptée mais elle n'est pas la plus fonctionnelle.
- Il part chercher directement le bon nombre de balais (conservation du nombre utilisé pour les chapeaux). L'enfant a une stratégie très efficace.

Que l'enfant ait rapporté ou non le bon nombre de balais, on poursuit l'épreuve.

Consigne 3 : « Tu vas maintenant retourner au magasin et rapporter juste ce qu'il faut pour faire les yeux ».

Observations des stratégies de l'enfant:

- Il ne compte pas et rapporte un nombre erroné d'yeux.
- Il rapporte un œil par bonhomme de neige : le changement de situation n'est pas perçu par l'enfant.
- Il rapporte deux yeux par bonhomme de neige : l'enfant s'est adapté au changement de situation. Pour cela, il a pu utiliser différentes stratégies : il a compté sur les bonhommes le nombre d'yeux nécessaires ; il sait qu'il y a 8 bonhommes et, au magasin, il prend 8 paires d'yeux ; il a recours à l'addition et calcule 8+8=16 yeux ; il a recours à la multiplication et calcule 8x2=16.

Seule la stratégie est prise en compte. Si une erreur de dénombrement ou de calcul interfère, sa stratégie sera cependant validée.

Consigne 4 : « Tu vas maintenant retourner au magasin et rapporter juste ce qu'il faut de boutons pour leur veste. Chaque veste est composée de trois boutons ». Le nombre de boutons par veste est ici explicite.

Observation des stratégies de l'enfant :

- Il ne compte pas et rapporte un nombre erroné de boutons. Il n'a alors pas réussi à trouver une stratégie efficace pour s'adapter à cette situation.
- Il rapporte un bouton par bonhomme. L'enfant n'a pas perçu le changement de situation et ne s'y est pas adapté.
- Il rapporte trois boutons par garçon. L'enfant s'est adapté au changement de situation.

<u>Cotation :</u>

99-101	2yeux 3boutons
96-98	balais conservés
93-95	chapeaux comptés balais comptés
90-92	
87-89	
84-86	
81-83	chapeaux non comptés balais comptés
78-80	
75-77	
72-74	
69-71	
66-68	
63-65	
60-62	part sans cpter
âge en mois	**Utilisation du nombre**

V. Résultats

1. Type d'analyse des résultats

Notre étude porte sur un petit nombre de sujets. Ces enfants sont d'âges très différents et leurs performances ne sont pas toujours comparables. Ils ne présentent pas tous les mêmes lésions cérébrales (localisation et étendue). Le groupe de sujets recrutés est trop hétérogène pour justifier une analyse statistique. Les résultats seront donc présentés sous forme d'études de cas multiples.

Les batteries utilisées sont étalonnées pour les enfants de 4 à 6 ans concernant le test EVA, de 5 à 8 ans pour le Tedi-Math et de 5 ans à 8 ans ½ pour la B-LM. Pour l'analyse des résultats des sujets dont l'âge est supérieur à l'étalonnage, nous avons considéré que les différents tests prévus pour des enfants plus jeunes devaient être réussis dans leur intégralité.

Pour des raisons de confidentialité, les prénoms des enfants ont été modifiés. Les informations des anamnèses sont issues du dossier médical de chaque enfant.

2. Analyse des résultats

2.1. Léo

Léo est âgé de 8 ans et 6 mois au moment du bilan.

Cet enfant présente une hémiparésie droite suite à une intervention cardiaque à l'âge de 16 mois. Lors de l'opération, des troubles de la coagulation ont provoqué un accident d'ischémie cérébrale. L'enfant présente une hémorragie sous-arachnoïdienne localisée en territoire pariétal gauche et en territoire pariéto-occipital droit sous cortical. Un élargissement de la vallée sylvienne et des espaces péri-cérébraux ainsi que des sillons des régions fronto-pariétale et temporale gauche ont été constatés par imagerie cérébrale.

Léo est pris en charge par le SESSAD. Il bénéficie, à raison de deux séances par semaine, d'un suivi en kinésithérapie, orthophonie et ergothérapie ainsi que d'une prise en charge de groupe en psychomotricité.

Actuellement, Léo double son CP en CLIS (CLasse pour l'Inclusion Scolaire, scolarisation des élèves handicapés à l'école primaire). Son niveau scolaire correspond à un âge de 6-7 ans. L'enfant utilise uniquement sa main gauche du fait de son hémiparésie droite.

2.1.1. Compétences neurovisuelles

- La **fixation** n'a pas été soutenue pendant plus de 4 secondes. Léo obtient un score de 0/1.

• Le **champ visuel** est impossible à évaluer car Léo a des difficultés à fixer la cible et à inhiber les saccades oculaires vers le stimulus.

• L'**extinction visuelle** n'a pas pu être évaluée pour les mêmes raisons.

• La **poursuite visuelle** est difficile. On observe une indissociation des mouvements oculaires et céphaliques. Les saccades sont peu fluides. Il obtient un score de 1/3.

• La **mémoire visuelle des formes** est légèrement déficitaire. Léo obtient un score de 2/4 à cette épreuve. Les deux erreurs portent sur des items identiques à l'item cible mais orientés différemment.

• Les **capacités d'attention visuelle sélective** sont correctes lorsque l'item cible est très différent des distracteurs (barrage des nounours : 15/15 en 73 secondes), mais on remarque des difficultés lorsque l'item cible est visuellement proche des distracteurs et que l'épreuve fait appel au traitement de l'orientation visuo-spatiale (barrage des « A » : 13/15 en 88 secondes avec deux omissions situées en haut à droite de la feuille). Les stratégies de recherche ne sont pas structurées. Le premier nounours barré se trouve au milieu à gauche (-1) et la somme des trois premiers nounours barrés est de 0 : Léo commence à explorer au centre à gauche puis va vers la droite. L'exploration des « A » est aussi peu structurée. L'enfant commence par le milieu de la feuille puis dirige son regard vers la gauche. Il procède d'abord par colonne puis de façon aléatoire.

• A l'épreuve de **figures enchevêtrées**, Léo obtient le score maximum de 23/23. Il ne présente aucun signe de simultagnosie.

• L'épreuve d'**appariement** est réussie (7/8). Seule la première forme n'est pas reconnue. Cette erreur en tout début d'item semble due à un défaut d'attention.

En conclusion, Léo présente des difficultés de fixation et de poursuite visuelle. Son exploration visuelle est peu structurée et caractérisée par une grande lenteur. Cependant, les capacités d'analyse, de reconnaissance et de mémoire visuelle sont de bonne qualité.

2.1.2. Epreuves complémentaires

• La **distinction droite/gauche** semble instable. Il désigne sa joue gauche au lieu de la droite. On remarque également une méconnaissance du **schéma corporel**. En effet, Léo échoue lors de la désignation de son front (montre son menton) et de son genou (montre son pied).

• Les **praxies** sont correctement réalisées hormis celles qui nécessitent un geste latéralisé. Ceci confirme l'indistinction droite/gauche repérée dans l'épreuve précédente. Néanmoins, on peut écarter toute dyspraxie idéatoire ou idéomotrice.

• La réussite à l'épreuve de **perception des couleurs** permet d'écarter une agnosie des couleurs.

• Le score de Léo à l'épreuve **d'imagerie mentale** est de 8/8. La représentation visuo-spatiale de l'enfant est de bonne qualité.

Ces épreuves complémentaires montrent que Léo présente un trouble du schéma corporel et une difficulté de distinction droite/gauche.

2.1.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère			identité collections terme à terme	
87-89		4 dés. Correctes			
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Léo présente un profil logique globalement homogène et bas, caractérisé par des structures logiques qui ne se mettent pas en place.

L'épreuve de **classification** montre que Léo est gêné dans le classement d'objets selon leur propriété commune. Dans un premier temps, un critère est dégagé (couleur) mais une fois sa collection construite, il éprouve des difficultés à la remanier afin de dégager d'autres critères. De plus, l'enfant ne parvient pas à définir la classe en compréhension, c'est-à-dire à donner le critère commun aux éléments assemblés. Il classe ensuite les objets par taille et forme et sa production est figurale.

La **sériation** des bâtons émerge à peine, Léo ne parvient pas à les sérier. Ensuite, aux questions « montre-moi ce qui est plus grand/petit que le *n* ème bâton (notion d'ordre) », l'enfant désigne un seul élément lorsqu'on attend une réponse de type « tous ceux-là » ou « ces *n* là (notion de cardinal) ». La relation entre l'ordre et la cardinalisation n'est pas établie. Selon Piaget, l'enfant se situe au stade pré-ordinal.

L'épreuve d'**inclusion** est échouée. L'enfant a une difficulté pour inclure une classe dans une autre. Cependant, il semblerait que ses difficultés soient liées au langage car à la question « Est-ce que les tulipes rouges sont des tulipes ? », l'enfant répond « non » et désigne les tulipes jaunes. De plus, la présentation de l'épreuve, sans manipulation possible, a peut-être été un facteur favorisant l'échec. Un matériel manipulable (perles, animaux, fleurs) aurait permis un raisonnement par tâtonnements successifs et aurait peut-être conduit l'enfant à des réponses différentes.

Les **conservations** ne sont pas présentes. Léo parvient à établir une distribution ordonnée des coccinelles, la correspondance terme à terme est respectée. Cependant, que ce soit dans le domaine du discontinu ou du continu, toute modification de disposition spatiale entraîne une réponse différente. Il éprouve le besoin de recompter chaque collection ou de vérifier manuellement l'égalité de longueur. L'enfant est dépendant de sa perception. Léo ne se base que sur les états, il se situe donc au stade de la non conservation.

Globalement, Léo a un fonctionnement très perceptif et figuratif. Les notions logiques nécessaires à la mise en place des structures numériques ne sont pas acquises.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence une comptine stable mais jusqu'à 24 seulement.

Léo est capable de respecter une borne supérieure d'arrêt, mais lorsque l'épreuve impose une borne inférieure de démarrage, l'enfant débute toujours son comptage par 1. Ceci témoigne d'une chaîne insécable. Compter à rebours est pour lui impossible tout comme compter par pas de 2 ou de 10, malgré une amorce de l'examinateur.

Lors des épreuves de **dénombrement**, on remarque que le pointage de Léo est exclusivement visuel.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme n'est pas respecté. En effet, Léo commet des erreurs de coordination oro-visuelles qui l'amènent à réciter la suite des mots-nombres sans correspondance avec le pointage des éléments de la collection. Il commet des erreurs de marquage en oubliant certains éléments ou en les comptant deux fois. Deux dénombrements successifs d'une même collection aboutissent à deux nombres différents.
- Le principe d'ordre stable est respecté par Léo étant donné que les collections n'excèdent pas 24 éléments.
- Le principe de non pertinence de l'ordre n'est pas présent. L'enfant ressent le besoin de recompter plusieurs fois la collection. Il ne conserve pas le cardinal. Ceci confirme la conclusion de non conservation observée dans les épreuves logiques.
- Le principe de cardinalité est respecté. En effet, Léo considère le dernier mot-nombre énoncé comme étant le cardinal de la collection.

- Le principe d'abstraction est respecté. Les éléments hétérogènes « tortues » et « lions » sont considérés comme appartenant à l'ensemble « animaux » sur lequel porte le dénombrement.

Léo n'observe que trois des cinq principes nécessaires à un dénombrement correct.

A l'épreuve visant à tester les capacités de l'enfant à quantifier une collection par **subitizing**, Léo n'utilise ce processus qu'une seule fois sur les 8 planches de gommettes proposées. Les configurations canoniques ne sont pas reconnues.

L'épreuve d'**estimation globale** met en évidence la capacité de Léo à apprécier et comparer la numérosité de deux collections de points dispersés. Il obtient le score de 6/6. Il montre plus de difficultés dans l'épreuve de grandeur relative qui consiste à estimer une quantité représentée par des nombres arabes en vue de les comparer (score 8/12). Certaines réponses sont données au hasard. Le sens du nombre n'est pas acquis.

Nous l'observons aussi dans l'épreuve des bonhommes de neige qui montre que l'**utilisation du nombre** n'est pas opérationnelle. Léo part chercher des chapeaux sans compter les bonhommes. Puis, il ne conserve pas le cardinal lorsqu'il lui est demandé de rapporter le nombre exact de balais. Ensuite, il ne rapporte qu'un œil par bonhomme et un nombre erroné de boutons. Léo ne met en place aucune stratégie d'utilisation du nombre.

Léo présente un retard très important des acquisitions numériques.

2.2. Maud

Maud est âgée de 10 ans 1 mois au moment du bilan.

Maud est née prématurément, à 28 SA (grande prématurité) par césarienne et pesait 1200 gr. Un mois de mise sous oxygène a été nécessaire. Elle est issue d'une grossesse gémellaire suite à une FIV (Fécondation In Vitro).

Les médecins diagnostiquent une IMOC compte tenu du retard psychomoteur qu'elle présente en comparaison avec sa sœur jumelle.

Maud est scolarisée dans une école primaire ordinaire. Elle est actuellement en classe de niveau CM1-CM2 qu'elle double.

L'enfant bénéficie d'une prise en charge en SESSAD.

2.2.1. Compétences neurovisuelles

• La **fixation** est bonne. Maud arrive à fixer l'examinateur pendant 10 secondes (1/1).

• L'intégrité du **champ visuel** semble préservée (11/12).

• L'enfant ne montre aucun signe d'**extinction visuelle** (1/1).

• La **poursuite visuelle** est bonne, sans perte de fixation, et les mouvements oculaires sont fluides et sans mouvements céphaliques (3/3).

• La **mémoire visuelle des formes** est correcte (4/4).

• L'**attention sélective visuelle** est déficitaire (barrage de nounours : 14/15 en 47 secondes, avec 1 omission en bas au centre ; barrage des « A » : 13/15 en 59 secondes avec une fausse alarme non corrigée et deux omissions situées en bas au centre de la planche). La stratégie de recherche n'est pas encore tout à fait automatisée. En effet, Maud adopte deux stratégies exploratoires différentes pour une même tâche. Une stratégie « lecture » pour les nounours : elle commence par barrer le premier nounours situé en haut à gauche puis continue le barrage suivant le sens de la lecture (emplacement des 3 premiers nounours cochés : score = 0). Une stratégie « haut-bas » pour les « A » : elle commence par barrer un premier « A » en haut à droite puis continue le barrage vers le bas de la feuille.

• A l'épreuve de **figures enchevêtrées**, Maud réussit tous les items (23/23). Elle ne présente aucun signe de simultagnosie.

• L'épreuve d'**appariement** est réussie dans sa totalité (8/8).

En conclusion, les difficultés relevées concernent l'attention visuelle sélective.

2.2.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires attestent d'une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, des deux mains, ce qui permet d'écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte et la réussite à l'épreuve d'**imagerie mentale** témoigne d'une représentation visuo-spatiale de bonne qualité.

Ces épreuves complémentaires n'ont mis en évidence aucune difficulté particulière.

2.2.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère				
87-89		4 dés. Correctes		identité collection terme à terme	
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Le profil logique de Maud montre que ses productions sont conformes à celles attendues concernant les domaines de la classification, la sériation et la conservation. L'inclusion n'est cependant pas acquise.

L'épreuve de **classification** est réussie. Maud se situe au stade opératoire. Une fois le premier critère dégagé, elle est capable, par une mobilité de la pensée, de considérer les jetons différemment et de percevoir successivement les autres critères.

La **sériation** des bâtons est opératoire. L'enfant pose chaque élément d'emblée, sans hésitation ni tâtonnement. Les relations entre les éléments sont établies. La correspondance entre l'ordinal et le cardinal est acquise.

On remarque une difficulté spécifique dans l'épreuve d'**inclusion**. En effet, à la question « y a-t-il plus de fleurs ou plus de tulipes ? », l'enfant répond « plus de tulipes ». Là aussi, on peut se demander si la présentation de l'épreuve est adéquate. Un matériel manipulable lui aurait peut-être permis d'explorer les éléments en procédant par regroupements.

La notion de **conservation** est acquise dans les domaines du discontinu (coccinelles et fleurs) et du continu (longueur des baguettes). Les justifications sont correctes et la contre-suggestion ne déstabilise pas l'enfant qui maintient la conservation.

Maud présente un retard d'acquisition logique dans le domaine de l'inclusion.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence un niveau de chaîne terminale. La chaîne est manipulable, sécable, et les épreuves de dénombrement vont montrer que les mots de la chaîne sont totalement individualisés et porteurs d'un sens numérique.

Lors des épreuves de **dénombrement**, Maud procède par un pointage visuel pour les petites collections, digital pour les plus grandes.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme est respecté dans le dénombrement de patterns linéaires. Tous les éléments sont pointés et un mot-nombre est attribué à chacun. Cependant, lors du dénombrement de points dispersés, elle doit s'y prendre à plusieurs fois avant d'énoncer le cardinal attendu. La difficulté réside dans la séparation virtuelle des éléments « déjà pointés » et ceux « restant à pointer ».
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre est présent. Maud conserve le cardinal de la collection lorsqu'on lui demande le nombre d'éléments qu'elle aurait comptés si elle avait commencé par tel élément.
- Le principe de cardinalité est respecté. Maud considère le dernier mot-nombre énoncé comme étant le cardinal de la collection.
- Le principe d'abstraction est présent. Les éléments hétérogènes « tortues » et « lions » sont considérés comme appartenant à l'ensemble « animaux » sur lequel porte le dénombrement.

Maud met en application quatre des cinq principes nécessaires à un dénombrement correct.

A l'épreuve visant à tester les capacités de l'enfant à quantifier une collection par le processus de **subitizing**, on remarque que la perception de la quantité est immédiate lorsque les deux collections de points sont identiques (par exemple : 5+5 ou encore 3+3) ainsi que pour les petites quantités (telles que 2+3). Lorsque les collections sont différentes, Maud utilise le subitizing pour le groupe de point le plus à gauche et y ajoute un à un les points de droite (par exemple pour la planche 4+3, elle voit quatre puis ajoute en pointant les trois autres gommettes). Pour la dernière planche (4+5), sa stratégie est différente : elle connaît la configuration de dix points, 5+5, elle en enlève un pour trouver 9. En conclusion, Maud utilise très largement cette reconnaissance directe de quantités.

L'épreuve d'**estimation globale** est réussie en totalité concernant la comparaison de patterns de points dispersés. L'estimation d'une quantité représentée par des nombres arabes et la comparaison entre eux est réussie pour 10 items sur les 12. Cette épreuve étant administrée en fin de séance, on peut justifier les deux erreurs par un relâchement de son attention.

L'épreuve d'**utilisation du nombre** est réussie dans sa totalité. On remarque une conservation du nombre et un ajustement de la stratégie en fonction des changements de situations. Les stratégies sont efficaces et l'utilisation du nombre est fonctionnelle.

Nous pouvons conclure que les capacités logiques de Maud lui ont permis d'accéder à une représentation du nombre et à son utilisation fonctionnelle.

2.3. Elodie

Elodie est âgée de 10 ans 2 mois au moment du bilan.

Cette enfant est née prématurément à 28 SA (grande prématurité) et pesait 1070 gr. L'accouchement est consécutif à un choc psychologique de la maman.

Les médecins ont diagnostiqué dès la naissance une IMC caractérisée par une tétraplégie spastique avec une hypotonie axiale. Son handicap nécessite l'utilisation d'un fauteuil électrique.

Elle est accueillie à l'IEM Rossetti en semi-internat depuis septembre 2008 où elle bénéficie d'une prise en charge médicale et paramédicale (orthophonie, kinésithérapie et ergothérapie). Depuis mai 2013, l'enfant est scolarisée en milieu ordinaire en classe de CE1 à raison d'une demi-journée par semaine.

Elodie porte des verres correcteurs et présente un léger strabisme droit.

La tétraplégie entrave la motricité des membres inférieurs et du membre supérieur droit. Elodie utilise donc exclusivement sa main gauche.

2.3.1. Compétences neurovisuelles

• La **fixation** est bonne. Elodie arrive à fixer pendant 10 secondes les yeux de l'examinateur (1/1).

• A l'épreuve de **champ visuel**, Elodie obtient un score de 6/12. On remarque une impossibilité à maintenir la fixation et à inhiber les saccades oculaires lorsque la cible se situe dans les cadrans supérieurs et inférieurs. Compte tenu de ces difficultés de fixation et d'inhibition des saccades, on ne peut conclure à une réduction du champ visuel.

• L'épreuve visant à déceler une éventuelle **extinction visuelle** n'est pas fiable car Elodie n'arrive pas à inhiber les saccades vers les mains de l'examinateur pour vérifier si elles tiennent un stylo.

• L'épreuve de **poursuite visuelle** est difficile (2/3) car Elodie accompagne les mouvements oculaires d'un mouvement céphalique. Cependant, la fixation de la cible est maintenue et les saccades semblent fluides.

• La **mémoire visuelle des formes** est correcte (4/4).

• L’**attention sélective visuelle** est correcte lorsque l’item cible est très différent des distracteurs (barrage de nounours : 15/15 en 65 secondes). Mais des difficultés apparaissent lorsque l’item cible est visuellement proche des distracteurs et lorsque l’épreuve fait appel à l’orientation des formes dans l’espace (barrage des « A » :12/15 en 98 secondes, 3 oublis). Les omissions sont situées au centre et en bas à gauche de la feuille. On note aussi des stratégies d’exploration peu efficaces : le premier nounours barré se trouve au centre de la feuille, le score des trois premiers nounours barrés est de +2. Le regard passe d’un côté à l’autre de la feuille et de haut en bas. Il en est de même pour le barrage des « A ». La stratégie de recherche n’est pas structurée.

• A l’épreuve des **figures enchevêtrées**, Elodie obtient un score de 21/23. Dans la planche 6, elle omet le bonnet situé en haut à gauche du dessin et dénomme « cloche » pour le verre. Dans la planche 5, elle omet le couteau situé en bas à droite du dessin. Elodie présente des signes de simultagnosie.

• L’épreuve d’**appariement** est totalement réussie (8/8).

En conclusion, Elodie présente des difficultés de poursuite visuelle. L’attention visuelle sélective est déficitaire et certains signes évoquent une simultagnosie.

2.3.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires attestent d’une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, de la main gauche uniquement compte tenu du handicap moteur touchant le côté droit, ce qui permet d’écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte et la réussite à l’épreuve d’**imagerie mentale** témoigne d’une représentation visuo-spatiale de bonne qualité.

Ces épreuves complémentaires n’ont mis en évidence aucune difficulté particulière.

2.3.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère				
87-89		4 dés. Correctes		identité collections terme à terme	
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Elodie présente un profil logique hétérogène et bas compte tenu de son âge.

L'épreuve de **classification** montre qu'Elodie est capable de dégager un premier critère (forme). Mais une fois la collection construite, l'enfant éprouve des difficultés à la remanier afin de dégager les autres critères. Ceci exprime un défaut de mobilité rétroactive de la pensée. Elodie ne peut reconsidérer le matériel et persévère sur son premier choix. Elle se situe au stade des collections non figurales selon Piaget.

L'épreuve de **sériation** est marquée par l'impossibilité d'Elodie à ordonner les bâtons selon leur taille. Il lui est très difficile de construire l'escalier, même lorsque l'examinateur lui montre la façon de procéder. Cette épreuve visuo-constructive est très sensible aux troubles neurovisuels. On remarque aussi que la relation entre l'ordre et la cardinalisation n'est pas comprise, seules deux désignations sont satisfaisantes. Ceci place Elodie au stade pré-ordinal.

A l'épreuve d'**inclusion**, Elodie montre une difficulté à inclure les tulipes dans la catégorie des fleurs. Elle maîtrise un seul niveau d'inclusion : les tulipes rouges dans la catégorie des tulipes. Il serait intéressant de proposer cette même épreuve avec un matériel manipulable.

L'épreuve de **conservation** des quantités discontinues (fleurs et coccinelles) met en évidence une distribution ordonnée des coccinelles et une correspondance terme à terme respectée. L'égalité des collections est affirmée lorsqu'une coccinelle est posée sur chaque fleur. Cependant, dès qu'une modification spatiale intervient, la perception de la quantité est modifiée. Elodie ne recompte pas les collections mais affirme qu'il y a plus de fleurs que de coccinelles ou inversement. Pour rétablir l'égalité, elle propose d'en enlever ou d'en ajouter. La conservation des quantités continues est également instable.

L'enfant affirme la conservation lorsque les baguettes sont espacées mais toujours alignées, sans pouvoir justifier sa réponse. Le fait de décaler une baguette ou de modifier la présentation visuelle modifie aussi son jugement d'égalité de longueur. Elodie est dépendante de sa perception. Elle se situe au stade de la non conservation.

Globalement, Elodie ne dispose pas des capacités logiques nécessaires à la construction du nombre.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence une comptine stable. On notera qu'à la consigne « peux-tu compter le plus loin possible ? », l'enfant se recule le plus possible jusqu'au mur de la pièce.

Elodie est capable de respecter une borne supérieure d'arrêt mais lorsque l'épreuve impose une borne inférieure de démarrage, l'enfant débute toujours son comptage par 1. Ceci témoigne d'une chaîne insécable. Compter à rebours est difficile, une amorce est nécessaire. Le comptage par pas de 2 est correct jusqu'à 18 seulement. La séquence par pas de 10 est échouée malgré une amorce de l'examinateur.

Lors des épreuves de **dénombrement**, on remarque que le pointage d'Elodie est exclusivement visuel.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme n'est pas respecté. En effet, Elodie commet des erreurs de marquage en oubliant certains éléments de la collection ou en les comptant à deux reprises. Deux dénombrements successifs conduisent à deux résultats différents. Cette difficulté intervient lorsque les patterns sont présentés de manière linéaire et aléatoire.
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre n'est pas toujours observé. Certaines collections sont recomptées. Cela concorde avec les observations faites dans les épreuves logiques de conservation.
- Le principe de cardinalité est respecté. Le dernier mot-nombre énoncé correspond au cardinal de la collection.
- Le principe d'abstraction est respecté. Les éléments hétérogènes « tortues » et « lions » sont considérés comme appartenant à l'ensemble « animaux » sur lequel porte le dénombrement.

Seuls trois des cinq principes nécessaires à un dénombrement satisfaisant sont observés.

A l'épreuve visant à tester l'utilisation du **subitizing**, on remarque qu'Elodie ne recourt à aucun moment à ce processus. Toutes les planches de gommettes sont dénombrées par un pointage visuel de chaque élément. Les configurations canoniques ne sont pas reconnues par l'enfant.

L'épreuve d'**estimation globale** met en évidence la capacité d'Elodie à apprécier et comparer la numérosité de deux collections lorsqu'il s'agit de points dispersés. Lorsqu'il lui est demandé d'estimer une quantité

représentée par des nombres arabes en vue de les comparer, la consigne « plus proche » et « plus près de » est comprise en termes de distance physique. Les réponses sont données au hasard. Le nombre ne revêt aucun sens pour elle, il n'est pas représentatif d'une quantité.

L'épreuve des bonhommes de neige permettant d'observer l'**utilisation du nombre** faite par l'enfant vient confirmer les résultats observés précédemment. En effet, Elodie part chercher les chapeaux sans compter les bonhommes. Elle rapporte ensuite un œil et un bouton par bonhomme de neige. L'utilisation du nombre n'est pas fonctionnelle, aucune stratégie de conservation ou d'adaptation n'est mise en place.

Les capacités logiques d'Elodie ne lui permettent pas de mettre du sens sur le nombre et de l'utiliser de façon adaptée et efficace.

2.4. Chloé

Chloé est âgée de 12 ans 4 mois au moment du bilan.

Elle est née prématurément à 32 SA (grande prématurité) et pesait 2500gr. Elle est restée 3 semaines en couveuse et a présenté des crises convulsives. La prématurité serait due à une hypertension artérielle (HTA) maternelle.

Le handicap a été diagnostiqué vers 5 ans compte tenu d'un retard dans ses acquisitions motrices.

Cette enfant est scolarisée en milieu ordinaire. Elle est actuellement au collège en classe de 5ème. Elle bénéficie d'une prise en charge en orthophonie et ergothérapie.

Chloé a subi une chirurgie du strabisme à 9 ans des deux yeux. Elle porte des verres correcteurs.

Elle utilise préférentiellement sa main droite.

2.4.1. Compétences neurovisuelles

• L'épreuve de **fixation** de l'examinateur est correctement réalisée : Chloé arrive à fixer son regard pendant 10 secondes (1/1).

• A l'épreuve de **champ visuel**, Chloé obtient un score de 2/12. Elle ne parvient pas à fixer l'examinateur et à inhiber les saccades oculaires. Cette double tâche nécessite un coût cognitif trop important. Son regard est systématiquement dirigé vers le stimulus ou se fixe sur la table. Ces données ne sont donc pas exploitables.

• L'**extinction visuelle** n'a pas pu être testée pour ces raisons.

• La **poursuite visuelle** est très difficile, avec des pertes de fixation et des mouvements oculaires saccadés. On remarque cependant que la dissociation des mouvements oculaires et céphaliques est respectée (1/3).

• La **mémoire visuelle des formes** est correcte (4/4).

• Les **capacités d'attention visuelle sélective** sont correctes, que l'item cible soit très différent des distracteurs (barrage des nounours : 15/15 en 35 secondes) ou qu'il soit visuellement proche des distracteurs (barrage des « A » : 15/15 en 40 secondes). Concernant le barrage des nounours, l'exploration visuelle est structurée, le premier nounours barré est au centre, le score des trois premiers nounours barrés est de -2. Chloé procède par un balayage de la feuille en ligne du haut vers le bas. Concernant le barrage des « A », l'exploration est plus anarchique. Elle procède en colonne du haut vers le bas, puis du bas vers le haut mais passe aléatoirement de gauche à droite et de droite à gauche. La stratégie exploratoire n'est pas automatisée.

• L'épreuve de **figures enchevêtrées** ne met en évidence aucun signe de simultagnosie (23/23).

• A l'épreuve d'**appariement**, elle obtient un score de 7/8. L'erreur porte sur l'item « cube » où elle désigne une figure identique mais orientée différemment.

En conclusion, Chloé présente des difficultés de poursuite et d'exploration visuelle.

2.4.2. Epreuves complémentaires :

Les épreuves complémentaires attestent d'une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, des deux mains, ce qui permet d'écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte et la réussite à l'épreuve d'**imagerie mentale** témoigne d'une représentation visuo-spatiale de bonne qualité.

Ces épreuves complémentaires n'ont mis en évidence aucune difficulté particulière.

2.4.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère				
87-89		4 dés. Correctes		identité collections terme à terme	
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Chloé présente un profil très bas compte tenu de son âge.

L'épreuve de **classification** montre que Chloé est capable de dégager un premier critère (forme), puis un second (couleur). Les classes sont correctement définies, en extension et en compréhension. Le troisième classement est impossible, Chloé manipule les objets et les regroupe à nouveau par forme. On observe donc une difficulté à changer de critère. Selon les stades de Piaget, l'enfant se situerait entre le stade des collections non figurales et celui de la classification opératoire étant donnée sa capacité à considérer le matériel différemment et à percevoir ces deux critères.

A l'épreuve de **sériation**, Chloé utilise une stratégie opératoire systématique. Elle cherche tout d'abord le plus grand bâton qu'elle met de côté, puis le plus grand des bâtons restants, et ainsi de suite. Une fois la série achevée, les bâtons forment une pyramide, la base étant établie sur la longueur du bâton le plus grand. Lors de l'ajout d'un élément, elle procède par comparaisons successives et parvient à le placer correctement. Cependant, les réponses aux questions qui suivent montrent que la relation entre l'ordre et la cardinalisation est acquise uniquement lorsque les questions portent sur les bâtons présents visuellement. A la question « Si on avait plus de bâtons, est ce qu'on pourrait savoir combien sont plus petits que le 12ème bâton ? », Chloé répond : « non, on ne peut pas savoir parce qu'ils ne sont pas là ». L'enfant semble attachée à une perception visuelle. La sériation n'est pas encore opératoire par défaut d'abstraction et de généralisation.

L'épreuve d'**inclusion** place Chloé au premier stade. Elle parvient à considérer que les tulipes rouges appartiennent à la classe des tulipes. Cependant, à la question « y a-t-il plus de fleurs ou plus de tulipes », l'enfant dénombre les fleurs non-tulipes et répond « il y a plus de tulipes ». Elle éprouve une difficulté à

coordonner la double appartenance des tulipes rouges à la classe des tulipes et à la classe des fleurs. La notion d'inclusion n'est pas acquise.

L'épreuve de **conservation** des quantités discontinues (fleurs et coccinelles) met en évidence une distribution ordonnée et une correspondance terme à terme respectée. L'égalité des collections est affirmée lorsqu'une coccinelle est placée sur chaque fleur. Lorsque la disposition spatiale change et que la correspondance terme à terme n'est plus visible, Chloé éprouve le besoin de dénombrer les deux collections afin d'affirmer l'égalité. Ceci révèle une conservation de la quotité (quantité comptée) et non de la quantité. A la question « que faudrait-il faire pour avoir pareil de fleurs et de coccinelles ? » elle envisage la rétroaction. Cette même réponse est donnée lors de l'épreuve de conservation des longueurs. Dès la deuxième présentation (baguettes séparées de 5 cm), elle affirme qu'une des baguettes est plus grande « parce qu'elles sont séparées et qu'on voit mieux ». A la troisième présentation (décalage), elle répond par « celle-ci est plus grande parce que ça se voit ». Chloé est dépendante de sa perception visuelle. Toute modification de présentation visuelle modifie aussi son jugement d'égalité ce qui la place au stade de la non-conservation.

Globalement, Chloé ne dispose pas des capacités logiques nécessaires à la construction du nombre. Elle est totalement dépendante de sa perception visuelle, particulièrement dans les épreuves de conservation et de sériation. L'attachement à ce jugement perceptif ne permet pas la généralisation et l'abstraction des concepts.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence une comptine stable. Chloé est capable de respecter une borne supérieure et inférieure de démarrage. La chaîne est manipulable et sécable. L'enfant se situe au niveau de la chaîne terminale.

Lors des épreuves de **dénombrement**, Chloé procède par un pointage visuel pour les petites collections, digital pour les plus grandes.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme est respecté en ce qui concerne les patterns linéaires. Tous les éléments sont pointés et un mot-nombre est attribué à chacun. Cependant, lors du dénombrement de points dispersés, Chloé s'y prend à plusieurs reprises avant d'énoncer le cardinal attendu. Sa difficulté réside dans la séparation virtuelle des éléments « déjà pointés » et « restant à pointer ».
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre n'est pas présent. Chloé éprouve le besoin de recompter la collection.

- Le principe de cardinalité est respecté. Chloé considère le dernier mot-nombre énoncé comme étant le cardinal de la collection.
- Le principe d'abstraction est présent. Les éléments hétérogènes sont considérés comme appartenant à l'ensemble sur lequel porte le dénombrement.

Chloé n'observe que trois des cinq principes nécessaires à un dénombrement correct.

L'épreuve visant à tester les capacités de l'enfant à quantifier une collection par le processus de **subitizing** montre que Chloé utilise principalement ce processus lorsque la configuration des points est canonique.

L'épreuve d'**estimation globale** de la grandeur est réussie en totalité (points dispersés et nombres). Le sens du nombre en tant que représentatif d'une quantité est acquis.

L'épreuve des bonhommes de neige montre que l'**utilisation du nombre** n'est pas totalement opérationnelle. Les deux collections (bonhommes et chapeaux) sont correctement dénombrées, ce nombre est conservé et l'enfant va chercher directement le bon nombre de balais. Cependant, elle rapporte ensuite un seul œil par bonhomme de neige puis deux boutons pour chacun. Ceci met en évidence son incapacité à ajuster sa stratégie d'utilisation du nombre en fonction de changements de situations.

Chloé présente un retard des acquisitions logiques et numériques.

2.5. Paul

Paul est âgé de 12 ans 11 mois au moment du bilan.

Paul souffre d'une hémiparésie gauche suite à un traumatisme crânien grave (Glasgow 5). Cet accident a provoqué un hématome fronto-temporal droit et une hémorragie intraventriculaire.

Il est scolarisé en milieu ordinaire et est actuellement au collège en classe de 6ème. Il bénéficie d'une prise en charge en orthophonie et ergothérapie.

L'hémiparésie provoque un trouble de la motricité du membre supérieur gauche. Il utilise donc exclusivement sa main droite.

2.5.1. Compétences neurovisuelles

• La **fixation** est difficile et ne dépasse pas 8 secondes. Paul échoue donc à cet item (0/1).

• Le **champ visuel** n'a pas pu être testé étant donné les difficultés qu'a Paul à fixer l'examinateur et à inhiber les saccades oculaires.

• L'épreuve visant à déceler une éventuelle **extinction visuelle** n'a pas pu être réalisée pour les mêmes raisons.

• La **poursuite visuelle** est difficile avec des pertes de fixation de la cible (2/3).

• La **mémoire visuelle** des formes est bonne (4/4).

• Les **capacités d'attention visuelle sélective** sont correctes, que l'item cible soit très différent des distracteurs (barrage des nounours : 15/15 en 37 secondes) ou qu'il soit visuellement proche des distracteurs (barrage des « A » : 15/15 en 53 secondes). Concernant ces deux épreuves de barrage, l'exploration est structurée et la stratégie utilisée est une stratégie « lecture », c'est-à-dire en ligne de gauche à droite, ce qui lui permet de retrouver tous les items cibles rapidement.

• Paul ne présente aucun signe de simultagnosie à l'épreuve des **figures enchevêtrées** (23/23). Là encore, on remarque qu'il utilise la même stratégie exploratoire, de gauche à droite (stratégie « lecture »).

• A l'épreuve d'**appariement**, Paul obtient le score maximal de 8/8.

En conclusion, Paul présente des difficultés de fixation et de poursuite oculaire.

2.5.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires attestent d'une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, de la main droite uniquement compte tenu du handicap moteur touchant le côté gauche, ce qui permet d'écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte. Il obtient un score de 6/8 à l'épreuve d'**imagerie mentale**, les deux dernières questions étant échouées. A la question « Est-ce qu'un tabouret est plus petit qu'une échelle ? », l'enfant répond « Non », à la question « Est-ce qu'un melon est plus petit qu'une orange ? », il répond « Oui ». Ceci peut alerter sur un éventuel déficit de la représentation visuo-spatiale.

Ces épreuves complémentaires peuvent nous faire suspecter un trouble de la représentation visuo-spatiale.

2.5.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère				
87-89		4 dés. Correctes		identité collections terme à terme	
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Paul présente un profil plutôt homogène. Certaines notions logiques ne sont pas totalement acquises.

L'épreuve de **classification** montre que Paul est capable d'isoler un premier critère (couleur), puis un second (forme). Les classes sont correctement définies, en extension et en compréhension. Un troisième classement est pour lui impossible. On remarque donc une difficulté à inhiber les deux premiers critères afin d'en trouver un autre. Cette épreuve situe Paul entre le stade des collections non figurales et celui de la classification opératoire.

L'épreuve de **sériation** est intégralement réussie. Paul procède par comparaison de la taille des bâtons en se référant à une base horizontale stable. L'ajout d'un élément ne lui pose aucun problème. Les réponses de l'enfant aux questions permettent d'affirmer que la correspondance entre l'ordinal et le cardinal est acquise. En effet, à la question « si on avait plus de bâtons, combien seraient plus petits que le douzième ? », il répond directement « 11 » en justifiant sa réponse par « parce que si tu prends le douzième et que t'en enlèves un ça fait onze ». Les relations entre les éléments sont établies, la sériation est opératoire.

L'épreuve d'**inclusion** montre que Paul considère un seul niveau d'inclusion. Il parvient à affirmer que les tulipes rouges appartiennent à la classe des tulipes. Cependant, à la question « y a-t-il plus de fleurs ou de tulipes ? », il répond « plus de tulipes ». Pourtant lorsqu'on lui demande si les tulipes sont des fleurs, il répond par l'affirmative. Encore une fois, il serait intéressant de présenter une épreuve d'inclusion sous une autre forme afin d'affirmer ces conclusions.

L'épreuve de **conservation** des quantités discontinues (fleurs et coccinelles) met en évidence une distribution ordonnée et une correspondance terme à terme respectée. L'égalité des collections est affirmée

lorsqu'une coccinelle est placée sur chaque fleur. Lorsque la disposition spatiale change et que la correspondance terme à terme n'est plus visible, Paul dénombre à nouveau les deux collections. Un premier dénombrement aboutit à deux cardinaux différents (10 fleurs et 11 coccinelles), il affirme donc qu'il y a plus de coccinelles. Puis il dénombre à nouveau les collections et corrige sa réponse. La production de l'enfant marque une non conservation dans le domaine du discontinu. A l'épreuve de conservation des longueurs (domaine du continu), Paul affirme d'emblée la conservation malgré les transformations. Ses justifications montrent cependant qu'il se situe à un stade intermédiaire : « parce qu'ils ont la même taille », « parce que on peut mesurer comme ça (il place ses mains aux extrémités des baguettes) », « parce que si on prend une règle et qu'on mesure c'est toujours la même taille ». Il maintient la conservation lors des contre-suggestions.

En conclusion, les notions logiques sont présentes, certaines sont stables, d'autres sont en cours de généralisation.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence une comptine stable. Paul est capable de respecter une borne supérieure. Il marque une hésitation lors du comptage avec une borne inférieure. Une amorce est nécessaire pour le premier item, les suivants sont réussis. La chaîne est manipulable et sécable. L'enfant se situe au niveau de la chaîne terminale.

Lors des épreuves de **dénombrement**, Paul procède le plus souvent par un pointage digital. Lorsque les quantités sont petites, un pointage visuel lui suffit.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme n'est pas toujours respecté. Dans l'épreuve de dénombrement de patterns linéaires, certains éléments sont omis. L'enfant s'y prend à deux fois pour dénombrer les points dispersés. Il pointe d'abord les gommettes deux par deux, mais cette stratégie n'est pas efficace. Sa difficulté réside dans la séparation virtuelle des éléments « déjà pointés » et « restant à pointer ». Il recommence alors en les pointant une à une.
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre est présent.
- Le principe de cardinalité est respecté. Paul considère le dernier mot-nombre énoncé comme étant le cardinal de la collection.
- Le principe d'abstraction est présent. Les éléments hétérogènes sont considérés comme appartenant à l'ensemble sur lequel porte le dénombrement.

Seule la correspondance terme à terme lui pose des difficultés, les quatre autres principes sont respectés.

A l'épreuve visant à tester l'utilisation du **subitizing**, on remarque que le recours à ce processus est systématique lorsque la configuration des points est canonique. Les 8 planches sont quantifiées sans avoir recours au dénombrement.

L'épreuve d'**estimation globale** met en évidence la capacité de Paul à apprécier et comparer la numérosité de deux collections de points dispersés. De même, la comparaison de nombres arabes est correcte. Le sens du nombre comme représentatif d'une quantité est acquis.

L'épreuve des bonhommes de neige permettant d'observer l'**utilisation du nombre** faite par l'enfant vient confirmer les résultats observés précédemment. Paul dénombre correctement les deux collections (bonhommes et chapeaux), conserve la quantité pour les balais et s'adapte aux changements de situations quant aux yeux et aux boutons. Le nombre est porteur de sens et son utilisation est fonctionnelle.

Globalement, Paul a quelques lacunes concernant les opérations logiques. Les notions de classification et d'inclusion sont à généraliser, cependant, cela n'entrave pas les compétences mathématiques testées.

2.6. Thomas

Thomas est âgé de 16 ans au moment du bilan.

Il est né à 38 SA, il n'est donc pas considéré comme prématuré. Son poids de naissance était de 1680 gr. Le retard de croissance intra-utérin (RCIU) trouve son origine dans une fœtopathie virale. L'IMC diagnostiquée est secondaire à cette souffrance fœtale. Il présente un tableau clinique de tétraplégie spastique prédominant au niveau de l'hémicorps droit. Son handicap nécessite l'utilisation d'un fauteuil électrique. L'IRM cérébral met en évidence une leucomalacie périventriculaire.

Cet adolescent est scolarisé en milieu ordinaire. Il est actuellement au collège en classe de 4ème. Il bénéficie d'une prise en charge en orthophonie, kinésithérapie, ergothérapie et psychomotricité.

Thomas a subi une chirurgie du strabisme en 2001 (strabisme divergent).

La tétraplégie entrave les mouvements des membres inférieurs et du membre supérieur droit. Thomas utilise donc exclusivement sa main gauche.

2.6.1. Compétences neurovisuelles

• La **fixation** est correcte : Thomas l'a maintenue pendant 10 secondes au second essai (1/1), ce qui laisse penser que c'est un exercice qui lui demande beaucoup d'efforts.

• Le **champ visuel** n'a pas pu être évalué car Thomas a des difficultés à fixer la cible et à inhiber les saccades oculaires vers le stimulus.

• L'épreuve visant à déceler une éventuelle **extinction visuelle** n'est pas fiable car Thomas n'arrive pas à inhiber les saccades vers les mains de l'examinateur.

• La **poursuite visuelle** est difficile avec des saccades peu fluides (2/3)

• La **mémoire des formes** est bonne (4/4).

• Les **capacités d'attention visuelle sélective** sont correctes, que l'item cible soit très différent des distracteurs (barrage des nounours : 15/15) ou qu'il soit visuellement proche des distracteurs (barrage des « A » : 15/15 avec une fausse reconnaissance immédiatement corrigée). Concernant ces deux épreuves, les temps d'exécution sont longs : 88 secondes pour le barrage des nounours, 96 secondes pour le barrage des « A ». Ceci est dû à une exploration non structurée. En effet, aucune stratégie visuelle n'est mise en place : l'exploration des nounours est aléatoire (le premier nounours barré est situé en bas à droite de la feuille et le score des trois premiers nounours barrés est +3) et concernant le barrage des « A », Thomas semble d'abord utiliser la stratégie « lecture » et procède en ligne de gauche à droite, puis son exploration devient anarchique.

• Thomas ne présente aucun signe de simultagnosie à l'épreuve des **figures enchevêtrées** (23/23). Là encore, on remarque qu'il utilise la même stratégie exploratoire, de gauche à droite (stratégie « lecture »).

• A l'épreuve d'**appariement**, Thomas obtient le score maximal de 8/8.

En conclusion, Thomas présente des difficultés de poursuite et d'attention visuelle sélective.

2.6.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires attestent d'une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, de la main gauche uniquement compte tenu du handicap moteur touchant le côté droit, ce qui permet d'écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte. Il obtient un score de 7/8 à l'épreuve d'**imagerie mentale**. Il échoue à la question « Est-ce qu'un éléphant est plus grand qu'une souris ? » à laquelle il répond « Non ». Les autres réponses sont correctes. Ceci n'est pas suffisant pour conclure à un déficit de la représentation visuo-spatiale.

Ces épreuves complémentaires n'ont mis en évidence aucune difficulté particulière.

2.6.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

<table>
<tr><td>99-101</td><td>isole 3 critères</td><td rowspan="3">5 dés. Correctes</td><td rowspan="12">inclusion</td><td>cons justifiée</td><td>cons décalage</td></tr>
<tr><td>96-98</td><td rowspan="2">isole 2 critères</td><td rowspan="2">Conservation sans justification</td><td rowspan="5">conservation T</td></tr>
<tr><td>93-95</td></tr>
<tr><td>90-92</td><td rowspan="7">isole 1 critère</td><td rowspan="4">4 dés. Correctes</td></tr>
<tr><td>87-89</td><td rowspan="3">identité collections terme à terme</td></tr>
<tr><td>84-86</td></tr>
<tr><td>81-83</td></tr>
<tr><td>78-80</td><td rowspan="6">3 dés. Correctes</td><td rowspan="6">conservation écart</td></tr>
<tr><td>75-77</td><td rowspan="5">non identité collections en terme à terme</td></tr>
<tr><td>72-74</td></tr>
<tr><td>69-71</td><td rowspan="3">classe selon 2 critères</td></tr>
<tr><td>66-68</td></tr>
<tr><td>63-65</td></tr>
<tr><td>60-62</td><td></td><td>2 dés corr</td><td>non cons écart</td></tr>
<tr><td>âge en mois</td><td>Classification jetons</td><td>Sériation baguettes</td><td>Inclusion fleurs</td><td>Conservation coccinelles</td><td>Conservation baguettes</td></tr>
</table>

vert = acquis, rouge = non acquis

Le profil logique de Thomas montre que certaines notions logiques (classification, sériation et inclusion) ne sont pas totalement acquises.

L'épreuve de **classification** montre que Thomas est capable d'isoler un premier critère (forme), puis un second (couleur). Les classes sont correctement définies en compréhension et en extension. Cependant il lui est difficile d'extraire le critère de taille. On remarque donc une difficulté à inhiber les deux premiers critères afin d'en trouver un autre. Cette épreuve situe Thomas entre le stade des collections non figurales et celui de la classification opératoire.

A l'épreuve de **sériation**, Thomas utilise une stratégie systématique de comparaison d'un bâton à tous les autres. Il prend le plus petit bâton et le compare aux bâtons restants. L'ajout d'un élément le met en difficulté. Il est obligé de recommencer toute sa sériation. Les réponses aux questions qui suivent montrent que la relation entre l'ordre et la cardinalisation est établie uniquement lorsque les éléments sont présents visuellement. A la question « si on avait plus de bâtons, est ce qu'on pourrait savoir combien sont plus petits que le 12ème bâton ? », il répond « non, on ne peut pas savoir ». Les rapports établis entre les éléments sont semi-opératoires. Ils ne peuvent être détachés de la perception pour être manipulés abstraitement.

L'épreuve d'**inclusion** montre que Thomas éprouve une difficulté à inclure les tulipes dans la catégorie des fleurs. Il maîtrise un seul niveau d'inclusion : les tulipes rouges dans la catégorie des tulipes. A la question « y a-t-il plus de fleurs ou de tulipes ? » il répond « plus de tulipes ». Pourtant, lorsqu'on lui demande si les tulipes sont des fleurs, il répond par l'affirmative. Ici aussi, il serait intéressant de présenter l'épreuve sous une autre forme.

L'épreuve de **conservation** des quantités discontinues (fleurs et coccinelles) met en évidence une distribution ordonnée et une correspondance terme à terme respectée. L'égalité des collections est affirmée lors de chaque transformation. L'argument énoncé est la rétroaction « si tu les remets comme tout à l'heure, ça fera le même nombre ». Thomas maintient la conservation même après contre-suggestion. A l'épreuve de conservation des longueurs (domaine du continu), il affirme la conservation malgré les transformations. L'argument énoncé est « tu l'as juste bougé, ça n'a rien changé à leur longueur ». Là aussi, il maintient la conservation même après contre-suggestion. La notion de conservation est acquise et stable dans les domaines du continu et du discontinu.

En conclusion, les notions logiques sont présentes, certaines sont stables, d'autres sont en cours de généralisation.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** mettent en évidence une comptine stable. Thomas est capable de respecter une borne supérieure et inférieure de démarrage. Il se situe au niveau de la chaîne terminale. La chaîne est manipulable et sécable.

Lors des épreuves de **dénombrement**, Thomas procède par un pointage visuel pour les petites collections, digital pour les plus grandes.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme est respecté, que ce soit dans le dénombrement de patterns linéaires ou dans celui de points dispersés. Tous les éléments sont pointés et un mot-nombre est attribué à chacun.
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre est présent. Thomas conserve le cardinal de la collection lorsqu'on lui demande combien d'éléments il aurait compté s'il avait commencé par tel élément.
- Le principe de cardinalité est respecté. Thomas considère le dernier mot-nombre énoncé comme étant le cardinal de la collection.
- Le principe d'abstraction est présent. Les éléments hétérogènes sont considérés comme appartenant à l'ensemble sur lequel porte le dénombrement.

Thomas observe les cinq principes nécessaires à un dénombrement correct.

A l'épreuve visant à tester les capacités de l'enfant à quantifier une collection par le processus de **subitizing**, on remarque que Thomas utilise systématiquement ce procédé. Les configurations canoniques sont reconnues.

L'épreuve d'**estimation globale** met en évidence la capacité de Thomas à apprécier et comparer la numérosité de deux collections de points dispersés. De même, la comparaison de nombres arabes est correcte. Le sens du nombre comme représentatif d'une quantité est acquis.

L'épreuve des bonhommes de neige permettant d'observer l'**utilisation du nombre** faite par l'enfant vient confirmer les résultats observés précédemment. Thomas dénombre correctement les deux collections (bonhommes et chapeaux) et conserve la quantité pour les balais. Cependant, il rapporte un œil par bonhomme de neige. Prenant conscience de son erreur, il s'adapte et rapporte ensuite le nombre correct de boutons. On peut en conclure que le nombre est porteur de sens et que son utilisation est fonctionnelle.

Globalement, on observe chez Thomas quelques lacunes concernant les opérations logiques. Les notions de classification, de sériation et d'inclusion sont à généraliser. Cependant, cela ne semble pas entraver les compétences numériques testées.

2.7. Carine

Carine est âgée de 16 ans 1 mois au moment du bilan.

Elle est née prématurément à 29 SA (grande prématurité) et pesait 976 gr. Suite à une souffrance cérébrale, elle sera hospitalisée pendant trois semaines en néonatologie. Les médecins diagnostiquent une quadriplégie spastique prédominant à gauche. L'importance du handicap moteur nécessite l'utilisation d'un fauteuil électrique.

Carine est actuellement en semi-internat à l'IEM où elle bénéficie d'une prise en charge médicale et paramédicale (orthophonie, kinésithérapie, ergothérapie et psychomotricité).

Carine est droitière et ne porte pas de verres correcteurs.

2.7.1. Compétences neurovisuelles

• La **fixation** est bonne : Carine parvient à fixer son regard pendant 10 secondes dès le premier essai.

• A l'épreuve de **champ visuel**, elle obtient le score de 8/12. Les deux erreurs commises concernent le cadran inférieur gauche. Il semblerait que le champ visuel soit réduit à ce niveau.

• L'épreuve visant à déceler une éventuelle **extinction visuelle** n'est pas exploitable car Carine n'arrive pas à inhiber les saccades vers les mains de l'examinateur, principalement lorsque le stimulus se situe dans son champ gauche.

• La **poursuite visuelle** est difficile avec des saccades peu fluides (2/3).

• A l'épreuve de **mémoire visuelle**, Carine obtient le score de 3/4. Elle échoue au deuxième item (triangle) et désigne une forme identique mais orientée différemment.

• L'**attention sélective visuelle** est correcte lorsque l'item cible est très différent des distracteurs (barrage des nounours : 15/15 en 65 secondes, le premier nounours barré se trouve en haut à gauche, le score des trois premiers nounours barrés est de -2). Des difficultés apparaissent lorsque l'item cible est visuellement proche des distracteurs et lorsque l'épreuve fait appel à l'orientation dans l'espace (barrage des « A » : 12/15 en 86 secondes avec trois omissions réparties sur toute la feuille et une fausse alarme non corrigée). La stratégie d'exploration « lecture » est utilisée pour les deux épreuves, cependant les omissions montrent qu'elle n'est pas efficace.

• A l'épreuve de **figures enchevêtrées**, Carine obtient un score de 21/23. Dans la planche 6, elle omet la tortue (au milieu vers le bas), dans la planche 5, elle omet le couteau (à droite). Cette épreuve peut alerter sur une éventuelle simultagnosie.

• A l'épreuve d'**appariement**, Carine obtient un score de 6/8. Ses erreurs portent sur les items « ligne » et « flèche » et semblent essentiellement dues à des difficultés de traitement des orientations dans l'espace.

En conclusion, Carine présente des difficultés de poursuite et d'analyse visuelle. Son exploration visuelle est lente et non structurée. Elle montre des signes de simultagnosie et une réduction du champ visuel.

2.7.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires attestent d'une bonne connaissance du **schéma corporel** et une **distinction droite/gauche** de bonne qualité. Les **praxies** sont correctement réalisées, de la main droite uniquement compte tenu du handicap moteur touchant le côté gauche, ce qui permet d'écarter une dyspraxie non constructive (idéatoire ou idéomotrice). La **perception des couleurs** est intacte et la réussite à l'épreuve d'**imagerie mentale** témoigne d'une représentation visuo-spatiale de bonne qualité.

Ces épreuves complémentaires n'ont mis en évidence aucune difficulté particulière.

2.7.3. Compétences logico-mathématiques

a. Capacités logiques

99-101	isole 3 critères	5 dés. Correctes	inclusion	cons justifiée	cons décalage
96-98	isole 2 critères			Conservation sans justification	conservation T
93-95					
90-92	isole 1 critère				
87-89		4 dés. Correctes		identité collections terme à terme	
84-86					
81-83					
78-80		3 dés. Correctes		non identité collections en terme à terme	conservation écart
75-77					
72-74					
69-71	classe selon 2 critères				
66-68					
63-65					
60-62		2 dés corr			non cons écart
âge en mois	**Classification jetons**	**Sériation baguettes**	**Inclusion fleurs**	**Conservation coccinelles**	**Conservation baguettes**

vert = acquis, rouge = non acquis

Carine présente un profil hétérogène caractérisé par des structures logiques qui ne se sont pas mises en place.

Dans l'épreuve de **classification**, Carine ne parvient à isoler qu'un seul critère (forme). Il lui est impossible de reconsidérer les objets afin d'effectuer d'autres classements et elle persévère dans son premier choix. Carine se situe au stade des collections non figurales, la classification n'est pas encore opératoire.

L'enfant présente de grosses difficultés dans l'épreuve de **sériation**. Aucune comparaison n'est effectuée. En effet, elle dit « je ne sais pas s'il est petit ou grand ». Cette réponse catégorielle (grand/petit) montre que la relation n'est pas traitée. Le fait d'effectuer la sériation des bâtons devant elle ne l'aide pas. Aux questions « montre-moi ce qui est plus grand/petit que le *n* ème bâton » (notion d'ordre), l'enfant désigne un seul élément lorsqu'on attend d'elle une réponse de type « tous ceux-là » ou « ces *n* là » (notion de cardinal). La relation entre l'ordre et le cardinal n'est pas établie.

L'épreuve d'**inclusion** est échouée. Carine ne considère qu'un seul niveau d'inclusion. Elle parvient à inclure les tulipes rouges dans la classe des tulipes. Cependant, à la question « y a-t-il plus de fleurs ou de tulipes ? », elle répond « plus de tulipes ». Pourtant, lorsqu'on lui demande si les tulipes sont des fleurs, elle répond par l'affirmative. Compte tenu des difficultés observées dans la manipulation des objets aux épreuves de classification et de sériation, proposer l'épreuve d'inclusion sous forme de matériel manipulable n'améliorerait sans doute pas les résultats.

L'épreuve de **conservation** des quantités discontinues (fleurs et coccinelles) met en évidence une distribution ordonnée et une correspondance terme à terme respectée. L'égalité des collections ou des

longueurs (domaine du continu) est affirmée. Lorsque la disposition spatiale des objets est modifiée, elle maintient la conservation mais ses temps de réponse sont plus longs. Les justifications données sont « c'est difficile à expliquer, je ne sais pas comment expliquer, pour moi c'est équitable » ou encore « la longueur des baguettes ne change pas mais en fonction de là où tu les mets j'ai l'impression que ça change ». La notion de conservation est présente, cependant Carine exprime une difficulté à se dégager de sa perception visuelle immédiate. La conservation est à généraliser.

Tous les domaines logiques sont touchés, particulièrement la classification, la sériation et l'inclusion.

b. Le nombre

Les épreuves de **comptage** montrent que la comptine est stable. Carine est capable de respecter une borne inférieure et supérieure. La chaîne est donc sécable. Cependant, elle montre de grandes difficultés à compter à rebours et par pas de deux ou de dix. La chaîne n'est pas manipulable.

Lors des épreuves de **dénombrement**, Carine a le plus souvent recours à un pointage digital. Lorsque les collections sont petites, un pointage visuel lui suffit.

Principes de Gelman :

- Le principe de correspondance terme à terme n'est pas toujours respecté. Dans l'épreuve de dénombrement de patterns linéaires, certains éléments sont omis. Carine s'y prend à deux fois pour dénombrer les 9 lapins. Quatre tentatives lui sont nécessaires pour dénombrer les 24 gommettes dispersées.
- Le principe d'ordre stable est respecté.
- Le principe de non pertinence de l'ordre est instable. Carine éprouve le besoin de recompter la collection avant de dire « c'est le même nombre parce que ça n'a rien changé ».
- Le principe de cardinalité est aussi instable. Un recomptage lui est nécessaire pour le premier item (lapins). Pour les suivants, elle énonce correctement le dernier mot-nombre énoncé.
- Le principe d'abstraction est respecté. Les éléments hétérogènes sont considérés comme appartenant à l'ensemble sur lequel porte le dénombrement.

Seuls deux des cinq principes sont systématiquement présents. Les principes de correspondance terme à terme, de non pertinence de l'ordre et de cardinalité ne sont pas toujours mis en œuvre.

L'utilisation du **subitizing** n'est pas systématique. En effet, Carine utilise ce processus de quantification à cinq reprises sur les huit planches. Les représentations canoniques semblent être connues mais l'addition de deux groupes de points nécessite parfois un pointage digital.

L'épreuve d'**estimation globale** met en évidence la capacité de Carine à apprécier et comparer la numérosité de deux collections de points dispersés. Elle obtient le score de 6/6. Elle montre plus de

difficultés dans l'épreuve de grandeur relative (8/12), particulièrement lorsque les nombres arabes sont élevés, c'est-à-dire sur les dernières planches. Le sens du nombre n'est pas acquis.

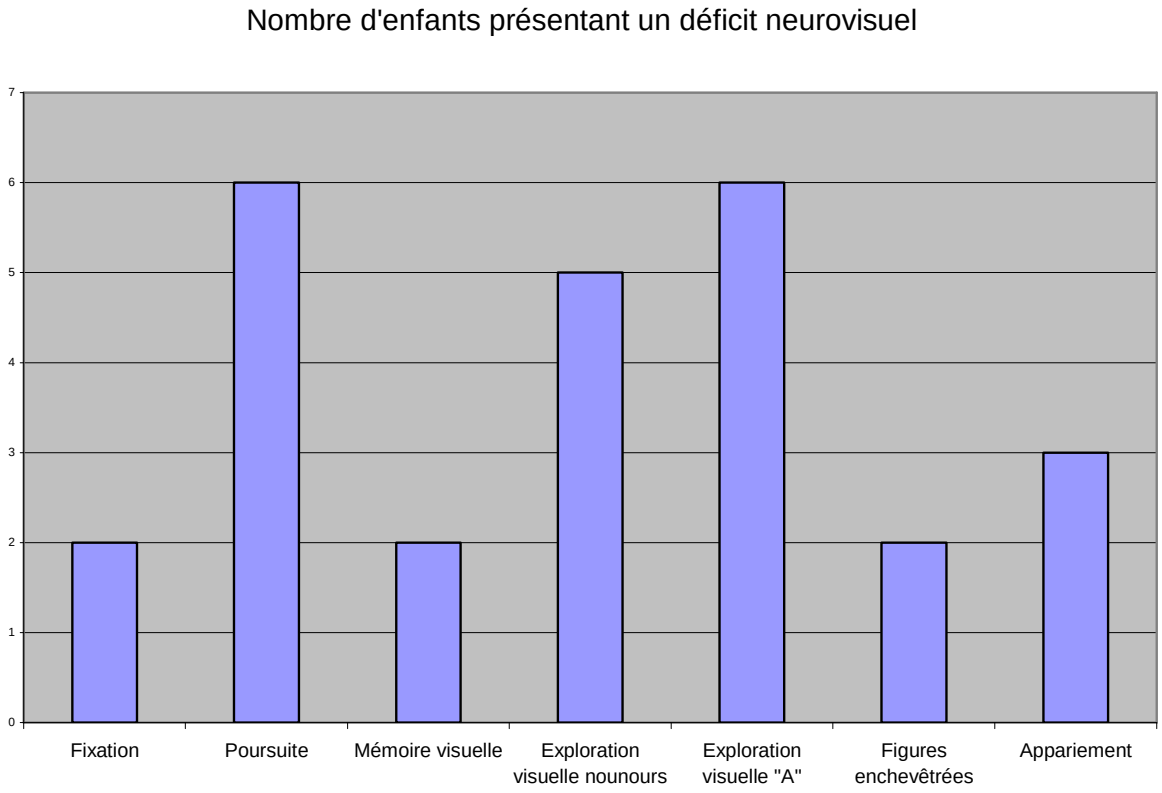
Nous l'observons aussi dans l'épreuve des bonhommes de neige. L'**utilisation du nombre** n'est pas opérationnelle. Carine part sans compter la collection des bonhommes, puis elle se corrige et part chercher directement le bon nombre de balais. Ensuite elle rapporte un œil par bonhomme et un nombre erroné de boutons. L'utilisation du nombre n'est pas fonctionnelle, aucune stratégie d'adaptation n'est mise en place.

Les capacités logiques de Carine ne lui permettent pas d'acquérir le sens du nombre et de l'utiliser de façon adaptée et efficace.

3. Synthèse des résultats par domaine

3.1. Compétences neurovisuelles

Un tableau récapitulatif des compétences neurovisuelles est présenté en Annexe I.



3.1.1. Fixation et poursuite

Des troubles de la fixation du regard ont été mis en évidence chez 2 sujets sur 7. Pour les sujets présentant ces troubles, les épreuves de champ visuel et d'extinction n'ont pas pu être administrées car les enfants ne parvenaient pas à fixer l'examinateur et à inhiber les saccades vers la périphérie. Le coût cognitif que nécessite cette double tâche est trop important.

Le trouble de la poursuite est celui qui touche le plus grand nombre de sujets dans cette étude. En effet, 6 enfants sur 7 sont concernés (tous sauf Maud). Parmi ces 6 sujets, 4 présentent des saccades non-fluides et 2 des pertes de fixation. A deux reprises, on remarque une indissociation des mouvements oculaires et céphaliques.

3.1.2. Champ visuel

Le champ visuel est très difficile à tester lorsque la fixation n'est pas stable. Les sujets ne parviennent pas à fixer suffisamment longtemps l'examinateur et à inhiber les saccades vers les mains de celui-ci, ce qui a invalidé l'épreuve. Il n'a été possible de faire passer cette épreuve qu'à deux enfants (Maud et Carine). Parmi elles, Carine semble présenter une amputation objectivable du champ visuel touchant la partie inférieure gauche.

3.1.3. Extinction

L'épreuve visant à dépister une éventuelle extinction visuelle s'est également révélée difficile à administrer en raison des troubles de la fixation. Nous remarquons que les enfants ont tendance à initier des saccades vers les stimuli au moment d'attraper la ou les cibles. Il semble que l'initiation d'un schème moteur perturbe la tâche. Nous avons donc demandé aux enfants de dire le nombre de crayons sans les attraper. Tous les enfants répondent correctement, aucune extinction visuelle n'a donc été observée. Cette technique compensatoire a nettement amélioré la fiabilité de l'épreuve.

3.1.4. Mémoire visuelle des formes

Cinq des sept sujets de notre étude ne présentent pas de troubles de la mémoire visuelle.

A cette épreuve, on remarque que chez deux enfants les erreurs portent uniquement sur des items identiques à l'item cible, mais orientés différemment dans l'espace.

3.1.5. Attention sélective visuelle

L'attention sélective visuelle a été évaluée par des tests de barrage. Cinq enfants sur sept présentent des difficultés dans ce type de tâche. Les deux enfants qui ont entièrement réussi les deux épreuves de la batterie de dépistage ont mis en place une stratégie exploratoire efficace.

Pour quatre sujets, le temps de traitement est supérieur à ce qu'on attend à leur âge. Cet allongement du temps leur permet de compenser une stratégie exploratoire inefficace. Seule Maud effectue l'épreuve en un temps largement inférieur à celui attendu, elle commet cependant des omissions.

On remarque que les difficultés sont plus nombreuses dans l'épreuve de barrage des « A », c'est-à-dire lorsque l'épreuve fait appel à l'orientation des formes dans l'espace. En effet, les fausses alarmes et les omissions sont plus nombreuses et les temps de traitement sont allongés.

Les stratégies exploratoires, lorsqu'elles sont présentes, s'avèrent peu efficaces. La stratégie la plus utilisée est la stratégie « lecture », l'exploration se faisant en ligne de gauche à droite.

3.1.6. Simultagnosie

Deux enfants sur les sept présentent des signes de simultagnosie, c'est-à-dire qu'ils ont des difficultés à percevoir plusieurs éléments visuels présentés simultanément. Il s'agit d'Elodie et Carine.

3.1.7. Analyse visuelle

L'analyse visuelle est testée par l'épreuve d'appariement. Cette tâche est échouée par trois enfants : Léo, Carine et Chloé. Ces sujets ont commis des erreurs portant sur le traitement de l'orientation des formes dans l'espace.

Cette étude met en évidence un déficit neurovisuel présent chez tous les enfants cérébrolésés testés. Les principaux troubles concernent la fixation et la poursuite oculaire qui entraînent une difficulté de mise en place d'une stratégie exploratoire efficace. Ces difficultés laissent présager des troubles logico-mathématiques, notamment dans les épreuves de dénombrement qui nécessitent une exploration efficace des collections à quantifier.

3.2. Epreuves complémentaires

Les épreuves complémentaires visent à écarter certains troubles présents dans la pathologie de la paralysie cérébrale pouvant avoir un impact sur les épreuves neurovisuelles et logico-mathématiques.

On remarque la présence d'un trouble du **schéma corporel** chez un seul sujet. Il s'agit de Léo qui échoue aux épreuves de désignation des parties du corps et pour qui la distinction droite/gauche semble instable.

Chez deux enfants, on suspecte un trouble de l'**imagerie mentale** (Paul et Thomas). Ceci peut alerter sur un déficit de la représentation visuo-spatiale.

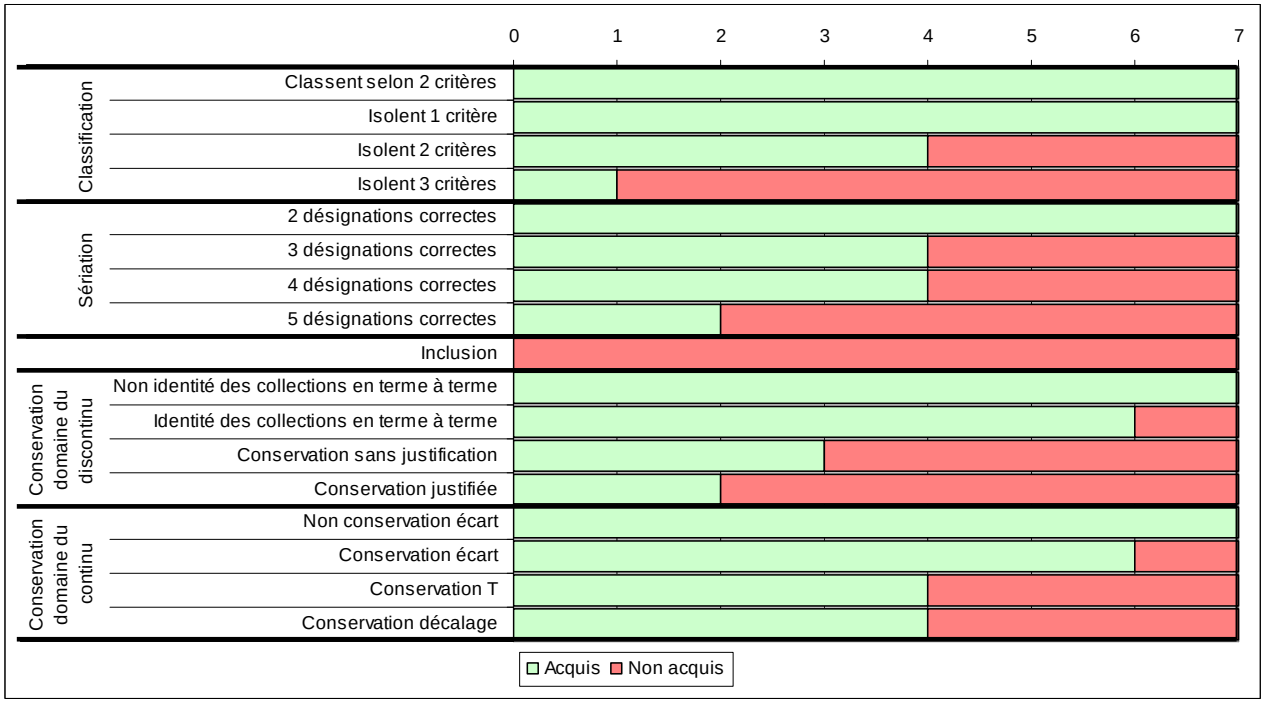
Aucune **dyspraxie non-constructive** ni **agnosie des couleurs** n'ont été décelées.

3.3. Compétences logico-mathématiques

3.3.1. Capacités logiques

Un tableau récapitulatif des capacités logiques de chaque enfant est présenté en Annexe II.

Répartition des capacités logiques



Les compétences logiques des enfants testés sont très hétérogènes, indépendantes de leur âge.

Seule une enfant parvient à effectuer en totalité l'épreuve de **classification**, il s'agit de Maud. Elle possède donc une maturité intellectuelle qui se caractérise par une mobilité rétroactive de la pensée. Une fois le premier critère dégagé, elle est capable de considérer le matériel différemment afin de percevoir successivement les autres critères. La classification est opératoire.

Chez les six autres sujets, cette classification n'est pas encore opératoire. Trois d'entre eux, Chloé, Paul et Thomas, parviennent à isoler deux critères successivement, alors que les autres enfants, Léo, Elodie et Carine, n'en dégagent qu'un seul. Le critère taille, jamais trouvé, est le plus difficile à isoler car il se base sur une relation grand/petit. Ces enfants se situent au stade des collections non figurales, hormis Léo qui se situe au stade des collections figurales.

A l'épreuve de **sériation**, on remarque qu'elle n'est opératoire que chez deux enfants, Maud et Paul. Ces enfants posent chaque élément d'emblée, sans hésitation ni tâtonnement. Cette sériation permet de rendre corrélatifs les sens du terme *n*, qui signifie le *n* ème rang et le cardinal *n*. Chez deux autres sujets, Thomas et

Chloé, la série de bâtons est correctement réalisée mais le lien entre l'ordinal et le cardinal n'est pas établi. Quant à Léo, Elodie et Carine, il leur est impossible d'ordonner les bâtons, même lorsqu'un modèle est effectué par l'examinateur, et les réponses aux questions montrent que la relation ordinal/cardinal n'est pas acquise.

L'épreuve d'**inclusion** est difficile à analyser. En effet, il nous a semblé que la nature même de l'épreuve pouvait mettre en échec l'enfant. Voulant éviter l'écueil des troubles moteurs et praxiques, le dessin a été présenté déjà réalisé. Or, le fait de le faire soi-même, engendre une réflexion préalable, un raisonnement, qui peut faciliter ensuite les réponses aux questions. D'autre part, il aurait été intéressant d'utiliser un matériel manipulable de type perles ou animaux. L'enfant aurait alors pu effectuer des regroupements concrets et directement visualisables. Néanmoins, d'après cette épreuve, on remarque que l'échec de Léo est sans doute dû à un trouble du langage oral. Les autres enfants possèdent un seul niveau d'inclusion (les tulipes rouges dans la classe des tulipes). Ils échouent tous à la dernière question qui porte sur un second niveau d'inclusion (les tulipes dans la classe des fleurs). Cette analyse montre qu'il existe un biais qui réside dans la présentation même de l'épreuve. Pour cette raison, nous ne pouvons utiliser ces résultats dans la mise en relation des compétences neurovisuelles avec les capacités logiques.

Pour deux sujets, la notion de **conservation** est acquise, dans les domaines du discontinu et du continu. Il s'agit de Maud et Thomas. Les justifications sont correctes et la contre-suggestion ne déstabilise pas ces enfants qui maintiennent la conservation. Dans le cas de Carine, la conservation est affirmée dans les deux domaines mais les justifications données montrent que cette notion est en cours de généralisation.

Elodie et Chloé présentent des résultats similaires. On remarque que tout changement de présentation modifie leur jugement d'égalité, que ce soit dans le domaine du continu ou du discontinu. Elles sont dépendantes de leur jugement perceptif et donc non-conservantes.

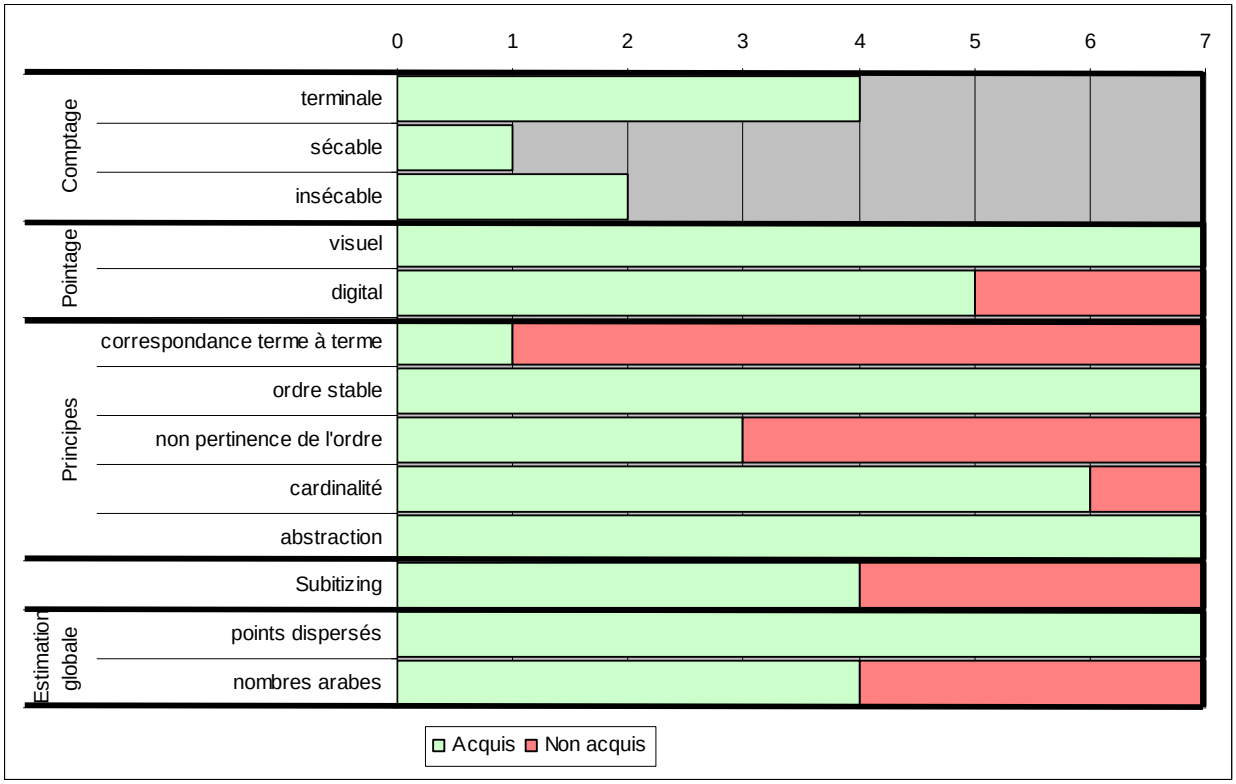
Léo échoue totalement à cette épreuve puisqu'il ne parvient pas à affirmer l'égalité des collections lorsqu'elles sont en correspondance terme à terme (une coccinelle sur chaque fleur). Dans le domaine du continu, toute modification spatiale entraîne pour lui une modification de la longueur. Léo est dépendant de sa perception visuelle et même dans la correspondance en terme à terme, l'équivalence quantitative n'est pas perçue. Il est non-conservant.

Cette étude met en évidence des compétences logiques très hétérogènes. Globalement, les résultats sont d'un niveau inférieur à ceux attendus compte tenu de l'âge des enfants. La classification, l'inclusion de classe et la sériation sont des structures logiques nécessaires à la construction du sens du nombre. Tous les domaines logiques sont ici atteints, ce qui laisse présager des difficultés dans l'acquisition du nombre.

3.3.2. Le nombre

Un tableau récapitulatif des capacités numériques de chaque enfant est présenté en Annexe III.

Répartition des capacités numériques



L'épreuve de **comptage** montre que quatre enfants, Maud, Chloé, Paul et Thomas, se situent au niveau le plus élevé, celui de la chaîne terminale. La chaîne numérique est stable, manipulable, sécable. Carine se situe au niveau de la chaîne sécable, tandis que Léo et Elodie se situent au niveau de la chaîne insécable.

Lors des épreuves de **dénombrement**, on remarque que deux des sept sujets, Léo et Elodie, utilisent exclusivement le pointage visuel. A aucun moment ils n'ont recours au pointage digital. Ceci n'est pas imputable à un trouble moteur puisque les deux enfants sont capables de manipuler des objets. Chez les autres, le pointage visuel est utilisé pour le dénombrement des petites collections. Lorsque la quantité d'éléments augmente, le pointage digital devient alors nécessaire.

L'analyse du respect des principes de Gelman met en évidence des difficultés spécifiques à mettre en œuvre les principes de correspondance terme à terme (non respecté par six sujets) et de non pertinence de l'ordre (non respecté par quatre sujets non-conservants). Les principes d'ordre stable et d'abstraction sont observés par tous les enfants et seule Carine ne respecte pas le principe de cardinalité.

Concernant les épreuves de **subitizing,** d'**estimation globale** et d'**utilisation du nombre**, Léo, Elodie et Carine, présentent des profils similaires. Ils n'utilisent pas le processus de subitizing, les configurations

canoniques ne sont pas connues. Ce processus ne constitue pas pour eux un moyen perceptif rapide et sûr qui leur permettrait d'accéder immédiatement à la numérosité des petites collections. Un dénombrement leur est donc nécessaire. L'analyse de l'estimation globale montre que ces enfants sont capables d'apprécier et de comparer la numérosité de points dispersés. Ils montrent cependant de grandes difficultés dans la comparaison de quantités représentées par des nombres arabes. Ils n'ont pas accédé au sens du nombre, ce qui les conduit logiquement à une utilisation du nombre non fonctionnelle observée dans l'épreuve des bonhommes de neige.

De même, Maud, Paul et Thomas ont des résultats proches à ces épreuves. Tous utilisent le processus de subitizing. L'épreuve d'estimation globale de points dispersés et de nombres arabes est réussie. La représentation d'une quantité par un nombre a du sens pour eux, ce qui leur permet d'en faire une utilisation fonctionnelle.

Chloé, quant à elle, a un profil proche de ces trois sujets. Ses résultats sont identiques hormis pour l'épreuve d'utilisation du nombre dans laquelle elle exprime une difficulté à adapter sa stratégie aux changements de situations.

Les résultats aux épreuves numériques confirment l'hypothèse émise dans le point précédent. En effet, les enfants présentant des capacités logiques insuffisantes expriment des difficultés à accéder au sens du nombre.

Les performances globales de notre échantillon sont, dans l'ensemble, très inférieures à celles qu'on pourrait attendre compte tenu de leur âge.

4. Analyse et mise en relation des capacités neurovisuelles avec les compétences logiques et numériques

4.1. Léo

L'importance des troubles neurovisuels que présente Léo entrave la mise en place de ses capacités logiques (telles la sériation, la classification et la conservation) ainsi que de plusieurs principes de dénombrement, notamment les principes de correspondance terme à terme et de non pertinence de l'ordre.

En effet, les difficultés de fixation et de poursuite visuelle de Léo provoquent une incoordination oro-visuelle qui l'amène à réciter la suite des mots-nombres sans correspondance avec le pointage des éléments. Certains objets sont omis, d'autres sont pointés deux fois. Deux dénombrements successifs aboutissent donc à deux cardinaux différents. L'invariance du nombre ne peut donc pas s'établir, ce qui explique le non respect du principe de non pertinence de l'ordre. L'enfant ne conserve pas le cardinal et éprouve le besoin

de recompter la collection. On le remarque également dans les épreuves de conservation où chaque modification de disposition spatiale entraîne pour lui une variation de la quantité.

De plus, ses difficultés de poursuite visuelle entravent l'accès au subitizing. En effet, la perception de la stabilité des relations spatiales entre les éléments est dépendante de la coordination oro-visuelle et donc de la poursuite oculaire. Léo ne repère pas les régularités spatiales des configurations canoniques.

Les difficultés repérées dans l'épreuve de sériation peuvent trouver leur origine dans le défaut de stratégie exploratoire et l'absence de fixation. Son trouble du regard entraîne une difficulté à apprécier les tailles relatives des objets et à établir des comparaisons. L'établissement d'une origine (base horizontale ou verticale) est impossible. La correspondance ordinal/cardinal ne peut donc se faire.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les difficultés de classification de Léo. Tout d'abord, sa stratégie exploratoire anarchique entrave l'exploration du matériel. Ceci provoque une difficulté à comparer les objets afin d'isoler les critères communs. Ensuite, ses faibles capacités de mémoire et d'analyse visuelle rendent difficile l'analyse des formes géométriques. Enfin, un paramètre autre que neurovisuel peut expliquer cette difficulté : le défaut de mobilité de la pensée. Une fois un critère dégagé, l'enfant ne parvient pas à l'inhiber afin de percevoir les autres critères.

Les troubles neurovisuels expliquent certainement une grande part des difficultés logico-mathématiques de Léo. L'enfant s'attache à une perception visuelle immédiate mais celle-ci n'est pas fiable. Il ne peut donc conceptualiser les opérations logiques ni accéder au nombre et à son utilisation fonctionnelle.

4.2. Maud

Maud possède des capacités de fixation et de poursuite visuelle de bonne qualité. Ceci lui permet une coordination visuo-manuelle efficace dans les activités de pointage. Cependant, on note une difficulté à respecter la correspondance terme à terme dans le dénombrement de points dispersés. Ceci est dû à une difficulté à établir une séparation virtuelle des « déjà pointés » et des « restant à compter ». D'après A. Van Hout[154], ce trouble serait plus d'ordre attentionnel que perceptif. D'ailleurs, les épreuves de barrage confirment ce déficit attentionnel qui entraîne la mise en place d'une stratégie exploratoire moins efficace.

Ses capacités de poursuite, de coordination visuo-manuelle et de mémoire visuelle lui ont permis un apprentissage visuel des dispositions canoniques. Elle utilise très largement la reconnaissance directe des quantités par le processus de subitizing.

[154] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p232

Ses bonnes capacités de mémoire et d'analyse visuelle lui permettent de percevoir les relations entre les éléments dans les épreuves de sériation et de classification de même que lors d'estimation globale de quantités.

Le trouble d'attention visuelle peut avoir un impact sur le dénombrement (principe de correspondance terme à terme). Les autres capacités neurovisuelles de bonne qualité (fixation, poursuite, mémoire et analyse visuelle) ont contribué à l'acquisition des notions logiques et numériques permettant une utilisation fonctionnelle du nombre.

4.3. Elodie

Les principaux troubles neurovisuels d'Elodie résident dans la poursuite oculaire et une stratégie exploratoire non structurée.

Les difficultés de poursuite oculaire et d'exploration entravent le dénombrement. La correspondance terme à terme ne peut être établie compte tenu d'un pointage non synchrone avec la comptine. L'enfant commet des erreurs de marquage et deux dénombrements successifs aboutissent à deux résultats différents. L'invariance du nombre ne peut donc se construire ce qui explique le non respect du principe de non pertinence de l'ordre. Elle ne conserve pas le cardinal et éprouve le besoin de recompter la collection. On le remarque également dans les épreuves de conservation. Sa perception de la quantité est modifiée dès qu'une modification spatiale intervient.

Ces difficultés de poursuite perturbent aussi ses capacités de subitizing. En effet, la perception de la stabilité des relations spatiales entre les éléments est dépendante de la coordination visuo-manuelle et donc de la poursuite oculaire. Elodie ne repère pas les régularités spatiales des configurations canoniques.

Les difficultés repérées dans l'épreuve de sériation peuvent trouver leur origine dans le défaut de stratégie exploratoire. L'appréciation des tailles relatives des objets en vue de leur comparaison est difficile. Ordonner les bâtons se révèle donc impossible pour elle. La relation entre l'ordre et la cardinalisation ne peut s'établir.

Concernant le domaine de la classification, plusieurs facteurs peuvent expliquer les difficultés de l'enfant. Tout d'abord, sa stratégie exploratoire perturbe l'exploration du matériel et provoque une difficulté à comparer les objets afin d'isoler des critères communs. Ensuite, les signes de simultagnosie repérés peuvent avoir un impact sur la recherche et la perception simultanée des différents critères caractérisant l'objet. Enfin, l'échec peut être imputable à un défaut de mobilité rétroactive de la pensée. Elodie ne peut reconsidérer le matériel et inhiber le premier critère dégagé. La mémoire et l'analyse visuelle de bonne qualité ne peuvent expliquer ces difficultés.

Ses capacités d'analyse et de mémoire visuelle lui permettent d'effectuer correctement une estimation globale de points.

L'importance des troubles neurovisuels que présente Elodie perturbe fortement l'acquisition des notions logiques (classification, sériation et conservation) et numériques (dénombrement et subitizing). Ces difficultés entravent l'accès au sens du nombre et à son utilisation fonctionnelle.

4.4. Chloé

Les principaux troubles neurovisuels de Chloé sont une poursuite oculaire de mauvaise qualité, une stratégie d'exploration non structurée, une attention visuelle faible et une analyse peu fiable.

Le défaut de poursuite et le trouble de l'exploration visuelle rendent difficile le dénombrement de points dispersés. Plusieurs essais lui sont nécessaires avant d'énoncer le cardinal de la collection. La raison du non-respect du principe de correspondance terme à terme trouve son origine dans sa difficulté à établir une séparation virtuelle des éléments « déjà pointés » et « restant à pointer ». D'après A. Van Hout[155], ce désordre serait plus d'ordre attentionnel que perceptif. Les épreuves de barrage confirment ce déficit attentionnel qui entraîne la mise en place d'une stratégie exploratoire moins efficace.

Les épreuves de conservation mettent en évidence que Chloé est dépendante de sa perception visuelle. Toute modification spatiale modifie aussi son jugement d'égalité. Ceci peut expliquer le non-respect du principe de non pertinence de l'ordre observé lors des épreuves de dénombrement.

La sériation des bâtons est correctement réalisée malgré une exploration visuelle peu efficace. On peut émettre l'hypothèse que la qualité de sa fixation compense ce trouble. Cette épreuve nous montre aussi que Chloé est attachée à la perception visuelle des éléments. La relation entre l'ordinal et le cardinal est établie uniquement pour les objets présents visuellement.

A l'épreuve de classification, deux regroupements sont successivement effectués. Les difficultés de Chloé peuvent être dues à la stratégie exploratoire inefficace, à un déficit d'attention visuelle et/ou à une analyse visuelle peu fiable. On peut attribuer aussi cet échec à un défaut de mobilité rétroactive de la pensée.

Malgré les troubles de la poursuite, Chloé utilise très largement le processus de subitizing. Ses capacités de mémoire visuelle lui permettent de reconnaître les dispositions canoniques.

Le trouble de la poursuite oculaire, d'attention et d'analyse visuelle ainsi que la mise en place d'une stratégie exploratoire inefficace semblent perturber l'accès aux notions logiques (sériation, classification et conservation). Totalement dépendante d'une perception visuelle, elle ne peut acquérir le sens du nombre et accéder à son utilisation fonctionnelle.

[155] VAN HOUT A, MELJAC C, FISHER J-P, *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 978-2294019083, p232

4.5. Paul

Les troubles neurovisuels repérés chez Paul résident dans un défaut de fixation et de poursuite oculaire.

Ces troubles perturbent les épreuves de dénombrement. En effet, le principe de correspondance terme à terme n'est pas toujours respecté. Ceci est dû à une incoordination visuo-manuelle. Certains éléments sont omis même lorsque les éléments sont présentés de manière linéaire. En présentation aléatoire, deux essais lui sont nécessaires car la séparation virtuelle des éléments « déjà pointés » et « restant à pointer » le met en difficulté. Deux dénombrements successifs d'une même collection peuvent donc aboutir à deux nombres différents. Le cardinal n'est pas toujours conservé. D'ailleurs les épreuves de conservation mettent en évidence une difficulté à affirmer d'emblée l'égalité des collections malgré les modifications spatiales, spécifiquement dans le domaine du discontinu.

Malgré le trouble de la fixation, la sériation est opératoire. La qualité de l'analyse visuelle et les capacités exploratoires semblent contribuer à la réussite de la construction de la série. De plus, la relation entre l'ordinal et le cardinal est établie.

Les difficultés observées dans l'épreuve de classification ne peuvent avoir pour origine un trouble neurovisuel. En effet, la stratégie d'exploration et l'analyse visuelle sont de bonne qualité. La raison semble plutôt relever d'un défaut de mobilité de la pensée et de coordination des classes qui l'empêche de reconsidérer le matériel afin d'en extraire tous les critères.

Malgré les troubles de la poursuite oculaire, Paul utilise très largement le processus de subitizing. Ses capacités de mémoire visuelle lui permettent de reconnaitre les dispositions canoniques.

L'épreuve complémentaire testant la qualité de l'imagerie mentale de Paul nous a fait suspecter un déficit de sa représentation visuo-spatiale. Dehaene et Cohen[156] affirment que la représentation de la taille des nombres aurait la particularité d'être de nature visuo-spatiale. Paul devrait alors exprimer des difficultés dans la comparaison de nombres. Or, l'épreuve d'estimation globale de nombres est totalement réussie par l'enfant. Ceci témoigne d'une capacité d'abstraction et de symbolisation. Le nombre a un sens pour Paul, il est représentatif d'une quantité. L'échec à cette épreuve relèverait plutôt d'un déficit attentionnel ou d'un trouble de la compréhension orale.

Les troubles neurovisuels de fixation et de poursuite oculaire perturbent les activités de dénombrement, notamment l'application du principe de correspondance terme à terme. L'acquisition de la conservation est donc difficile, particulièrement dans le domaine du discontinu. Pour autant, Paul a pu acquérir le sens du nombre et accéder à son utilisation fonctionnelle.

[156] DEHAENE S, MOLKO N, WILSON A, *Dyscalculie, le sens perdu des nombres*, Revue La recherche, N°379, oct 2004

4.6. Thomas

Les troubles neurovisuels repérés chez Thomas sont des difficultés de fixation et de poursuite oculaire ainsi qu'une exploration visuelle non structurée.

On remarque pourtant que les activités de dénombrement ne sont pas perturbées. Thomas compense ses troubles par une grande lenteur d'exécution. La coordination visuo-manuelle est bonne et la correspondance terme à terme est respectée.

Malgré les troubles de la poursuite oculaire, Thomas utilise systématiquement le processus de subitizing. Ses capacités de mémoire visuelle lui permettent de reconnaitre les dispositions canoniques.

Les difficultés repérées dans l'épreuve de sériation peuvent trouver leur origine dans le défaut de stratégie exploratoire et le trouble de la fixation. L'appréciation des tailles relatives des objets en vue de leur comparaison est difficile. L'ajout d'un bâton supplémentaire le met en grande difficulté. Il lui est impossible d'estimer globalement la taille de cet élément et de le comparer aux autres afin de le positionner correctement dans la série. Cette épreuve nous montre aussi que Thomas est attaché à la perception visuelle des éléments. La relation entre l'ordinal et le cardinal est établie uniquement pour les objets présents.

Concernant le domaine de la classification, plusieurs facteurs peuvent expliquer les difficultés de Thomas. Sa stratégie exploratoire lente et non structurée perturbe l'exploration du matériel et provoque une difficulté à comparer les objets afin d'isoler des critères communs. De plus, l'échec peut être imputable à un défaut de mobilité rétroactive de la pensée. Thomas ne peut reconsidérer le matériel et inhiber le premier critère dégagé.

Les troubles neurovisuels que présente Thomas ne semblent pas avoir d'impact sur les activités de dénombrement bien que l'on remarque une grande lenteur d'exécution. Cependant, les difficultés de fixation et d'exploration visuelle semblent perturber la réalisation des épreuves de sériation et de classification. Thomas est encore très dépendant de sa perception visuelle ce qui l'empêche d'accéder à une manipulation abstraite de ces concepts. Cela ne semble toutefois pas entraver les compétences numériques testées. Le sens du nombre est acquis et son utilisation est fonctionnelle.

4.7. Carine

Les troubles neurovisuels repérés chez Carine sont une difficulté de poursuite oculaire, un déficit de l'analyse visuelle, une exploration lente et non structurée et des signes de simultagnosie.

Les difficultés de poursuite et d'exploration visuelle provoquent une incoordination visuo-manuelle. La suite des mots-nombres est correctement réalisée mais non synchrone avec le pointage digital des éléments. Certains sont omis, d'autres pointés à deux reprises. La correspondance terme à terme est difficile à mettre en place. Deux dénombrements successifs peuvent aboutir à deux résultats différents. L'invariance du

nombre ne peut s'établir. On comprend alors le non-respect du principe de non pertinence de l'ordre. Carine ne conserve pas le cardinal et éprouve le besoin de recompter la collection. On le remarque également dans les épreuves de conservation où les modifications spatiales la perturbent fortement. Elle exprime une difficulté à se dégager de sa perception visuelle.

De plus, ces difficultés de poursuite visuelle entravent l'accès au subitizing. La perception de la stabilité des relations spatiales entre les éléments est dépendante de la coordination visuo-manuelle et donc de la poursuite oculaire. Carine ne repère pas les régularités spatiales des configurations canoniques.

Les difficultés repérées dans l'épreuve de sériation peuvent trouver leur origine dans le défaut de stratégie exploratoire. Son trouble du regard entraîne une difficulté à apprécier les tailles relatives des objets et à établir des comparaisons entre eux. L'établissement d'une origine (base horizontale ou verticale) est impossible. La relation entre l'ordinal et le cardinal ne peut donc se construire.

Concernant le domaine de la classification, plusieurs facteurs peuvent expliquer les difficultés de Carine. Tout d'abord, sa stratégie exploratoire lente et non structurée ainsi que son trouble de l'analyse visuelle perturbent l'exploration du matériel et provoquent une difficulté à comparer les objets afin d'extraire leurs critères communs. Ensuite, les signes de simultagnosie repérés peuvent avoir un impact sur la recherche et la perception simultanée des différents critères caractérisant l'objet. Enfin, l'échec peut être imputable à un défaut de mobilité rétro-active de la pensée. Carine ne peut reconsidérer le matériel et inhiber le premier critère dégagé.

L'importance des troubles neurovisuels participe à la non acquisition des notions logiques élémentaires. Sans elles, le nombre ne peut revêtir de sens. L'échec à l'estimation globale de nombres le montre. Carine s'attache à une perception visuelle mais celle-ci n'est pas fiable. Elle ne peut donc conceptualiser les opérations logiques ni accéder au nombre et à son utilisation fonctionnelle.

Chapitre III

DISCUSSION

I. Limites méthodologiques

Cette étude n'est qu'une étape préliminaire à d'autres travaux qui devront être conduits sur ce sujet car notre recherche présente des limites méthodologiques.

En effet, seuls sept enfants ont participé à cette étude. Il serait donc intéressant de proposer ce protocole à un nombre plus important de sujets ce qui rendrait possible une analyse statistique de leurs performances.

Ces enfants sont pour certains scolarisés en milieu ordinaire, pour d'autres en milieu institutionnel. Or, les enseignements dispensés sont très différents d'un milieu à l'autre. Une étude limitée à une forme de scolarisation permettrait d'homogénéiser la population testée.

Les mêmes épreuves ont été administrées à tous les enfants afin de tester les mêmes compétences. Compte tenu des âges très différents qui s'échelonnent de 8 ans 6 mois à 16 ans 1 mois, il serait intéressant de délimiter une tranche d'âge plus restreinte afin de pouvoir établir des comparaisons entre les enfants.

Les épreuves administrées sont multiples. En effet, afin d'obtenir une vision la plus large possible, il a fallu tester tous les domaines de la neurovision ainsi que des notions logiques et numériques très variées. L'impact des difficultés visuo-attentionnelles sur les compétences logico-mathématiques étant établi, il serait intéressant à présent de se pencher plus précisément sur tel ou tel domaine. Une prochaine étude pourrait par exemple affiner la recherche sur les difficultés d'analyse visuo-spatiale et la sériation, en proposant des épreuves présentées sous différentes formes. On pourrait imaginer tester cette notion par la manipulation de différents objets, bâtons et œufs gigognes par exemple, ou par la seule verbalisation, ce qui écarterait l'écueil de la manipulation visuo-spatiale.

De plus, certains domaines mathématiques n'ont pas été explorés comme les capacités de transcodage, de calcul et de résolution de problèmes. En effet, il nous a semblé important d'insister sur les pré-requis nécessaires à un apprentissage mathématique. Une orientation des recherches dans ce sens serait à envisager.

Tout en étant conscients de ces limites, voici les conclusions que nous tirons de cette recherche.

II. Apports de cette recherche

La paralysie cérébrale est une pathologie complexe, entraînant des incapacités motrices plus ou moins importantes et des déficits associés. Ces troubles sont la conséquence de lésions cérébrales précoces dont l'origine est péri ou postnatale. Dans notre étude, cinq sujets présentent des lésions périnatales, dont quatre suite à une prématurité et un à un retard de croissance intra-utérin (RCIU). Les lésions des deux autres enfants sont postnatales, par traumatisme crânien pour l'un et par accident ischémique pour l'autre.

Les recherches menées chez les enfants cérébrolésés, notamment en neuro-imagerie, ont mis en évidence un certain nombre d'anomalies cérébrales. Or, certaines de ces anomalies touchent les structures impliquées dans le traitement visuel. L'existence de lésions neuroanatomiques dans les régions qui sous-tendent les fonctions visuelles nous a amenés à nous interroger sur la nature des troubles neurovisuels chez ces enfants.

De plus, dans la littérature, plusieurs recherches mentionnent une difficulté d'accès aux notions logico-mathématiques chez les enfants porteurs de lésions cérébrales précoces.

Plusieurs régions corticales sont communes au traitement neurovisuel et logico-mathématique. Nous avons donc tenté d'établir une corrélation entre les troubles du regard et les difficultés d'acquisition des compétences logiques et numériques.

1. Troubles neurovisuels et opérations logiques

Le défaut de stratégie exploratoire mis en évidence chez six des sept sujets testés est un facteur d'échec dans les épreuves de **sériation**. En effet, ce trouble du regard semble perturber l'appréciation des tailles relatives des objets et leur comparaison. L'établissement d'une origine (base horizontale ou verticale) est impossible pour certains. Trois enfants ne parviennent pas à réaliser la série ordonnée de bâtons, ni à établir la relation entre le cardinal et l'ordinal. Chez deux autres sujets, malgré une série correctement réalisée, la relation cardinal/ordinal n'est établie que pour les éléments présents visuellement. On peut émettre l'hypothèse que le trouble neurovisuel entraîne une perception instable et perturbe la généralisation et l'abstraction de la notion d'ordre et de cardinalisation.

Concernant le domaine de la **classification**, les troubles de la stratégie exploratoire et de la fixation sont une des raisons qui expliqueraient les difficultés observées lors de l'épreuve. En effet, une stratégie exploratoire inefficace perturbe l'exploration du matériel et provoque une difficulté à comparer les objets entre eux afin d'en isoler les critères communs. De plus, les signes de simultagnosie repérés chez deux enfants semblent avoir un impact sur la recherche et la perception simultanée des différents critères caractérisant l'objet.

Ces troubles neurovisuels sont aussi à mettre en lien avec les difficultés d'accès à la **conservation**. On remarque chez beaucoup d'enfants que chaque modification spatiale entraîne une variation de quantité. Les troubles du regard provoquent une instabilité de leurs expériences visuelles. Certains sujets, très dépendants de leur perception visuelle, ne peuvent accéder à la généralisation des concepts afin d'en faire une manipulation abstraite. Leur attachement à ce jugement perceptif semble entraver l'acquisition de cette notion.

2. Troubles neurovisuels et opérations numériques

Les enfants que nous avons étudiés présentent principalement des troubles de la fixation, de la poursuite oculaire et d'exploration visuelle. Ces difficultés semblent provoquer une **incoordination oro-visuelle ou visuo-manuelle** ce qui perturbe fortement toute activité de dénombrement. La récitation de la suite de mots-nombres est non synchrone avec le pointage des éléments. Les sujets commettent des erreurs de marquage en oubliant certains éléments ou en les pointant deux fois. Deux dénombrements aboutissent à deux quantités différentes. L'**invariance du nombre** ne peut donc s'établir ce qui peut expliquer le non-respect du principe de non pertinence de l'ordre. D'une manière générale, le dénombrement de patterns linéaires est de meilleure qualité que celui de points dispersés. En effet, plusieurs sujets éprouvent une difficulté à établir une séparation virtuelle entre les éléments « déjà pointés » et ceux « restant à pointer ». Leur exploration étant aléatoire, ils ne parviennent pas à structurer le dénombrement.

Parmi les cinq principes de Gelman et Gallistel nécessaires à un **dénombrement** correct, deux sont nettement déficitaires : celui de la correspondance terme à terme et celui de la non pertinence de l'ordre. Or, ce sont ces deux principes qui mettent en jeu les capacités visuelles. En effet, les principes d'abstraction, de cardinalité et d'ordre stable sont peu sensibles aux troubles neurovisuels.

Nous remarquons aussi que le trouble de la poursuite oculaire entrave l'accès au **subitizing**. En effet, les trois enfants qui présentent une incoordination oro-visuelle ou visuo-manuelle ne repèrent pas les configurations canoniques. La perception de la stabilité des relations spatiales entre les éléments est dépendante de la coordination visuo-manuelle et donc de la poursuite oculaire.

L'analyse de l'**estimation globale** montre que tous les enfants sont capables d'apprécier et de comparer la numérosité de points dispersés. Cette épreuve nécessite des capacités d'analyse et de mémoire visuelle qui semblent suffisantes chez tous les sujets observés. Cependant, trois enfants montrent de grandes difficultés dans la comparaison de quantités représentées par des nombres arabes. Or, la représentation de la taille des nombres aurait la particularité d'être de nature visuo-spatiale et donc serait particulièrement sensible aux troubles neurovisuels (Dehaene & Cohen). Ces trois sujets présentent en effet un déficit neurovisuel important qui semble entraver l'accès au sens du nombre, son utilisation fonctionnelle ne peut donc se mettre en place.

Notre étude a donc permis de confirmer la présence de troubles neurovisuels chez les enfants cérébrolésés et de préciser leur nature. De plus, nous avons mis en évidence l'impact que peuvent avoir ces difficultés visuo-attentionnelles sur l'apprentissage logico-mathématique.

3. Réflexion

Les résultats décrits précédemment confirment la présence de troubles du regard chez les enfants cérébrolésés et en précisent la nature : altération des capacités de fixation, de poursuite oculaire et d'exploration visuelle. De même, nous avons observé un déficit dans le domaine logico-mathématique et un lien a pu être précisé entre le trouble neurovisuel et les difficultés de sériation, de conservation et de dénombrement, compétences nécessitant des capacités neurovisuelles de bonne qualité.

Les troubles du regard observés chez tous les enfants testés perturbent fortement leurs expériences, expériences logico-mathématiques dans le cas présent, qui se soldent à chaque tentative par des résultats différents. Les troubles neurovisuels se surajoutant au déficit moteur entravent l'accès aux concepts logiques et numériques.

L'observation clinique, notamment du comportement moteur et langagier durant la réalisation des épreuves proposées, nous amène à élargir notre réflexion et nous donne des pistes de conduites à tenir dans le cadre d'une prise en charge orthophonique.

Observation du comportement moteur

L'enfant paralysé cérébral présente des troubles moteurs qui perturbent toute activité nécessitant une manipulation. L'impact sur la motricité des membres supérieurs est plus ou moins important selon les sujets présents dans cette étude. Nous avons observé des troubles de motricité fine et donc des difficultés de préhension, des gestes imprécis consécutifs à des raideurs dues à une hypertonie musculaire ou à des tremblements. De plus, le geste peut être accompagné d'un mouvement global du corps vers l'avant causé par une hypotonie axiale. Ces mouvements incontrôlés provoquent des déplacements involontaires d'objets et aboutissent donc à une instabilité de la scène visuelle.

En débutant cette recherche, nous pensions que le déficit moteur ne permettrait pas de compenser les troubles du regard et que les stratégies compensatoires seraient différentes. Or, les enfants évalués semblent vouloir compenser le déficit neurovisuel par un surinvestissement des activités motrices. Cette réflexion nous amène à émettre l'hypothèse que, par manque de fiabilité du traitement neurovisuel de l'information, l'enfant paralysé cérébral recourt à une autre afférence sensorielle, le toucher.

Le comportement des enfants observés lors de la passation des épreuves logico-mathématiques nous interpelle. En effet, malgré leurs grandes difficultés motrices, nous remarquons, d'une part, un intérêt pour les activités manipulatoires et d'autre part, un recours très important aux manipulations, particulièrement lorsque le traitement neurovisuel est insuffisant. Ce moyen de compensation des enfants paralysés cérébraux peut être assimilé à celui du sujet valide qui utilise le toucher lorsque l'acuité visuelle est insuffisante et/ou la vision fonctionnelle altérée.

Léo et Carine sont les deux enfants qui présentent les troubles du regard les plus importants (troubles de la fixation, de la poursuite, de l'exploration visuelle). Or, on observe chez eux un besoin de manipuler, de déplacer, de toucher malgré leurs difficultés motrices. Cette stratégie est particulièrement utilisée dans les épreuves de sériation (utilisation du toucher pour l'estimation des tailles), du dénombrement (pointage digital même pour les petites collections), de conservation (vérification manuelle de l'alignement), de subitizing (pointage digital des petites quantités).

Les difficultés neurovisuelles de Thomas, Paul et Chloé sont moins importantes. Eux aussi ont recours aux manipulations, notamment dans les épreuves de sériation et de conservation. A la différence des enfants précédents, dans les épreuves de dénombrement, le pointage visuel suffit pour les petites collections alors que le pointage digital s'avère nécessaire pour les collections plus importantes (comme chez l'enfant non cérébrolésé). On peut donc émettre l'hypothèse que le trouble neurovisuel étant moins marqué, le recours aux manipulations est présent mais dans une moindre mesure.

Maud est l'enfant qui présente le trouble du regard le plus léger. Son traitement visuel est suffisamment fiable et le recours aux manipulations ne lui est pas nécessaire.

Elodie aussi présente un trouble neurovisuel très marqué et pourtant son utilisation du geste est minime. Cela va à l'encontre de notre hypothèse. On peut émettre deux suppositions : la dyspraxie visuo-constructive est trop importante, ou la rééducation intensive neuropsychologique et orthoptique dont elle a bénéficié l'a entraînée à compenser son trouble d'une autre manière notamment par le langage.

Le recours aux manipulations semble donc proportionnel au trouble neurovisuel. Cette stratégie de compensation est largement utilisée lorsque les difficultés d'exploration visuelle sont importantes, et dans une moindre mesure lorsque les troubles du regard sont moins marqués. Plus la vision est dysfonctionnelle (motricité oculaire défaillante), plus les manipulations sont importantes. Cette technique est plus ou moins efficace selon les enfants mais son utilisation quasi-systématique est à prendre en compte et éventuellement à renforcer.

Apports pour la prise en charge : Alors qu'on aurait tendance à adapter le matériel en diminuant au maximum le recours à la manipulation chez les enfants cérébrolésés, nos observations nous conduiraient au contraire à opter pour une diversification des supports sans écarter les activités manipulatoires. L'action sur l'objet étaye le raisonnement. Si l'on se réfère à la théorie piagétienne, c'est par son action sur le monde que l'enfant va pouvoir élaborer ses connaissances. La structuration du réel s'effectue d'abord sur le plan sensori-moteur. Cette théorie est aussi observée dans notre population malgré le coût en termes d'effort et le risque d'une manipulation inefficace.

Observation du comportement langagier

Alors qu'on pensait à un surinvestissement langagier pour pallier les difficultés neurovisuelles et motrices, nous remarquons que le langage n'est pas utilisé dans un but de compensation.

Dans le cas présent, deux groupes d'enfants se distinguent : les enfants qui parlent beaucoup et ceux qui utilisent peu le langage.

Elodie verbalise systématiquement son raisonnement, sa pensée. Lors de l'épreuve de sériation par exemple elle dira : « Ils sont presque tous de la même taille » « C'est lequel le plus petit ? » « Le plus plus plus petit ? ». Cette stratégie, bien qu'inefficace à ce jour compte tenu du retard de langage de l'enfant, est utilisée par Elodie et constitue donc une piste intéressante à exploiter dans le cadre de sa prise en charge orthophonique. Etant donné l'importance du trouble neurovisuel et de la dyspraxie d'Elodie, il semble important de poursuivre la rééducation du langage. Développer ses capacités dans le domaine langagier lui donnera un moyen d'étayer son raisonnement et permettra une amélioration de ses compétences logico-mathématiques.

Paul et Carine utilisent très largement le langage mais dans un but de réassurance. Nous notons des productions spontanées telles que : « C'est facile, j'ai tout bon ? », « Est-ce que j'ai fait mieux que untel ? », « Est-ce qu'untel a réussi ça ? », « C'est parce que il y a plein de solutions, je ne peux pas les dire toutes », « Je n'ai jamais été forte à ça », « J'ai eu combien ? ». L'observation de ces deux enfants permet de mettre en évidence l'importance du rôle du langage dans sa dimension psychoaffective. L'hyperémotivité est une caractéristique de la paralysie cérébrale. Il a donc fallu être vigilant face aux situations d'échec et adapter notre discours en utilisant nous aussi le langage dans le but de contenir ces réactions émotionnelles.

Chloé et Thomas utilisent très peu la verbalisation alors que leurs capacités langagières sont suffisantes. Le langage ne semble pas constituer pour eux un support à leur raisonnement. L'étayage du raisonnement par la verbalisation ne leur est pas spontané et demande donc à être éduqué, soutenu et renforcé.

Quant à Léo, ses capacités langagières sont très limitées. L'évolution de l'enfant dans ce domaine fait d'ailleurs suspecter une dysphasie. Ainsi, nous remarquons que la récitation de la comptine numérique n'est correcte que jusqu'à 24. A certaines questions auxquelles on attend une réponse orale, Léo préfère montrer, désigner. L'action lui est plus sûre que la verbalisation. Il répond plus facilement par une expression motrice, désignation ou manipulation, plutôt que par une expression verbale. Il serait donc intéressant de lui proposer des activités basées sur un matériel manipulable et que le thérapeute verbalise systématiquement les actions de l'enfant afin qu'un lien soit établi entre le réel, l'objet, et le symbolique, le langage.

La verbalisation du raisonnement nous paraissait être un moyen de compensation possible aux troubles neurovisuels et moteurs. Or, nous remarquons que plusieurs de ces enfants ne recourent pas spontanément au langage dans sa fonction d'étayage de la pensée et ce malgré des compétences langagières suffisantes. Parmi ceux qui le font, la plupart l'utilisent dans le but de diminuer la surcharge émotionnelle.

Apports pour la prise en charge : Tous ces enfants sont en cours de rééducation orthophonique qu'il est important de poursuivre car le langage, déjà utilisé à des fins de communication, est un moyen de pallier certaines difficultés.

Observations liées à la scolarisation

Sur les sept enfants testés, cinq étaient scolarisés au moment du bilan. Les épreuves proposées ne nécessitaient pas de connaissances mathématiques particulières. Néanmoins, chez quatre d'entre eux, nous avons pu relever une mise en application de procédures acquises au cours de leur scolarité.

Nous observons à plusieurs reprises un recours aux faits arithmétiques c'est-à-dire la récupération de résultats d'additions simples et de résultats des tables de multiplications qui ont été auparavant mémorisés. Par exemple, dans l'épreuve d'utilisation du nombre (bonhommes de neige), Paul utilise la multiplication pour compter le nombre de boutons nécessaires. Néanmoins, la mise en œuvre de cette procédure est inefficace puisqu'il effectue le calcul suivant : 3x7 au lieu de 3x9. Au cours de l'épreuve de subitizing, plusieurs enfants utilisent le calcul. Pour déterminer la quantité totale de la planche sur laquelle figurent 4 et 3 points en disposition canonique, Thomas nous explique : « j'ai fait 4+4, ça fait 8 et j'en retire 1, ça fait 7 ».

Par ailleurs, on note que chez trois de ces quatre enfants, le sens du nombre est acquis malgré des capacités logiques déficitaires. En effet, l'épreuve des bonhommes de neige met en évidence une utilisation du nombre correcte. Cela peut vouloir dire que leurs capacités logiques, bien qu'incomplètes, suffisent à une utilisation du nombre (tout du moins à celle testée ici) ou que les notions scolaires sont mémorisées puis utilisées sans pour autant revêtir de sens.

Il pourrait être intéressant dans une étude ultérieure d'approfondir la recherche dans le domaine numérique et de tester par exemple la résolution de problèmes. Cela permettrait d'observer le raisonnement de ces enfants et leur utilisation du nombre dans des situations plus complexes.

Autres remarques

Nous observons chez tous les enfants testés un ralentissement de la vitesse dans la réalisation des épreuves. Cette lenteur est directement due à l'atteinte cérébrale et aux connexions neuronales lésées. Chez tout sujet l'activité neurologique intervient à la fois dans le contrôle moteur et dans la cognition. La gestion de la répartition entre ces deux fonctions aboutit à un équilibre relatif selon la tâche effectuée. Dans le cadre de la paralysie cérébrale le coût que provoque la gestion du désordre moteur entrave le fonctionnement cognitif.

Parmi ces fonctions cognitives, il est nécessaire de noter que la mémoire de travail a certainement joué un rôle dans les épreuves proposées. Toutefois, les épreuves administrées ne sont pas destinées à tester ce domaine de la cognition et il est difficile d'en effectuer une analyse précise. Nous suspectons cependant un déficit de la mémoire de travail chez trois enfants à travers leurs difficultés lors des épreuves de comptage (respect des bornes, comptage à rebours ou par pas).

Dans le cadre de cette pathologie, la littérature mentionne une diminution de l'empan attentionnel. Notre observation clinique ne vient pas confirmer ce déficit. En effet, tous les enfants observés parviennent à maintenir une attention et une concentration de bonne qualité tout au long de la durée de passation des tests (45 minutes pour les plus jeunes, 1h30 pour les autres). Le rythme du bilan, la diversité du matériel, la nature des épreuves (matériel manipulable) et leur originalité ont sans doute contribué au maintien de leur concentration.

Il nous semble aussi important de noter le courage dont font preuve ces enfants. Malgré leurs nombreuses difficultés (motrices, neurovisuelles, cognitives) ils ont tous montré une volonté de réussir et la plupart d'entre eux ont fait preuve de sérénité face à la situation d'évaluation. Deux hypothèses peuvent être émises : soit ces enfants n'ont pas conscience de leurs difficultés, soit ce comportement est le résultat de leur parcours de rééducation. Cette deuxième hypothèse est la plus probable. En effet, ils sont habitués aux relations duelles enfant/thérapeute et ont une grande confiance en les rééducateurs. De plus, les situations d'évaluation sont récurrentes, ils ont l'habitude d'être sollicités par divers acteurs médicaux et paramédicaux. Ces enfants sont certes en grandes difficultés mais ils exploitent au mieux leurs capacités.

Pistes pour la prise en charge orthophonique

Contrairement au domaine de la pathologie adulte notamment dans le cadre des affections neurologiques, aucun bilan ou test spécifique n'a été étalonné pour les enfants paralysés cérébraux. Il est donc nécessaire pour l'orthophoniste d'adapter certaines épreuves : présentation sur un plan vertical, aide à la manipulation, respect de l'allongement des temps de réflexion et de réalisation des items. L'analyse clinique a toujours un rôle fondamental et plus encore dans ce type de pathologie. Elle permet de repérer les difficultés et les capacités de chaque enfant, leurs moyens de compensation et de facilitation sur lesquels il sera possible de s'appuyer lors de la prise en charge.

Nos observations ont montré l'importance de valoriser toute afférence sensorielle sans mettre à l'écart les activités manipulatoires. Lors des séances de rééducation, il nous semble intéressant de proposer des exercices dans lesquels la vue et le toucher sont sollicités afin que s'établisse, autant que faire se peut, une adéquation entre l'information visuelle et l'information motrice ou tactile tout en accompagnant l'enfant dans ses actions par la verbalisation. L'utilisation du langage est un moyen de symboliser le réel et de l'abstraire. La variété des supports et la diversité des activités proposées autour d'un concept participeront à l'accès à la généralisation. On peut imaginer travailler la notion de sériation avec des pailles de différentes longueurs, des boules de pâte à modeler de grosseurs différentes, des cubes ou des poupées russes qui

s’encastrent, des boîtes de même taille mais de poids différents, ou encore par le dessin. Le discours de l’orthophoniste décrit et étaye les manipulations de l’enfant, les questions dirigées contribuent à la construction de son raisonnement logique.

Comme dans toute prise en charge, la rééducation doit être individualisée, particulièrement dans le cadre de la paralysie cérébrale, et adaptée à chaque enfant compte tenu du mode de développement propre à cette pathologie à la fois sur le plan moteur et celui des fonctions cognitives.

CONCLUSION

Dans le cadre de la paralysie cérébrale, les données de la littérature font état de déficits associés au handicap moteur, notamment dans le domaine de la neurovision. Ces troubles du regard ont des conséquences sur les apprentissages.

Actuellement, les études menées sur les fonctions visuo-attentionnelles apportent des éléments nouveaux et interrogent sur l'impact d'un tel déficit sur le fonctionnement de l'enfant cérébrolésé et plus précisément sur ses acquisitions logiques et numériques.

Nous avons donc orienté nos recherches en ce sens. Comment les troubles du regard s'actualisent-ils au cours des épreuves logiques et numériques ? Dans quelle mesure et dans quels domaines ? Quelles en sont les conséquences sur la compréhension du nombre et son utilisation ?

Pour cela nous avons testé les capacités neurovisuelles et logico-mathématiques de sept enfants cérébrolésés. Les résultats ont permis d'objectiver les troubles du regard et de les identifier. Cette étude précise les déficits particuliers concernant la fixation et la poursuite oculaires ainsi qu'une difficulté à structurer l'exploration visuelle. Leurs conséquences sur le raisonnement logico-mathématique sont établies notamment dans les domaines de la sériation, de la conservation et du dénombrement particulièrement sensibles aux troubles neurovisuels.

Plus largement, l'analyse clinique a permis de mettre en évidence des comportements palliatifs spontanés tels que la manipulation. Cela confirme l'importance du recours au geste décrit par J. Piaget et souligne le caractère inné et spontané de la manipulation, caractère qui n'est pas entravé par le trouble moteur bien que celui-ci soit au premier plan du tableau clinique de la paralysie cérébrale. Nous remarquons en outre que l'utilisation du langage revêt plus un caractère affectif, en tant que conduite de réassurance, que cognitif, en tant qu'étayage de la pensée. Lorsqu'il est utilisé, ce moyen de palliation n'intervient qu'en seconde intention et/ou après rééducation.

Ces conclusions ouvrent des perspectives concrètes de rééducation orthophonique. D'une part, l'utilisation spontanée du geste doit être exercée, soutenue et encouragée. D'autre part, un apprentissage de la palliation langagière est indispensable.

Cette étude a aussi pour objectif de participer à l'information de tous les professionnels qui travaillent auprès de cette population (enseignants, médecins, psychomotriciens, kinésithérapeutes, orthoptistes, ophtalmologistes, orthophonistes) pour une meilleure adaptation de la prise en charge pluridisciplinaire en fonction des besoins et des capacités de ces enfants.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- AMIEL-TISON C., *L'infirmité motrice d'origine cérébrale*, Editions Elsevier Masson, 1997, 317p, ISBN 978-2294017278
- BARBEAU M., DUCARNE B., *Neuropsychologie visuelle : évaluation et rééducation*, Editions De Boeck, 1993, 192p, ISBN 978-2804117448
- BRIN F., COURRIER C., LEDERLE E., MASY V., *Dictionnaire d'orthophonie*, Isbergues, Ortho Edition, 2004, 303p, ISBN 978-2914121224
- CATAIX-NEGRE E., *Communiquer autrement, accompagner les personnes avec des troubles de la parole ou du langage : les communications alternatives*, Paris, Solal, 2011, 282p, ISBN 978-2353271078
- CHEVRIE-MULLER C, NARBONA, *Le langage de l'enfant : aspects normaux et pathologiques*, Paris, Masson, 1999, 451p, ISBN 978-222583752X
- CHOKRON S., *Approche neuropsychologique des troubles des apprentissages*, Solal, 2010, 382p, ISBN 978-2351270999
- CROUAIL A., MARECHAL F., *Prise en charge globale de l'enfant cérébro-lésé : troubles moteurs, cognitifs et psychiques*, Paris, Masson, 2006, 170p, ISBN 978-229402020855
- GERARD E., *Etre infirme moteur cérébral, les représentations de soi*, Toulouse, Editions Privat, 1991
- JEANROT N., JEANROT F., *Manuel de strabologie : aspects cliniques et thérapeutiques*, Elsevier Masson, 2011, 248p, ISBN 2294711092
- LANTHONY P., *Dictionnaire du strabisme*, Maloine, 1983, 201p, ISBN 0828818134
- LUSSIER F., FLESSAS J., VOYAZOPOULOS R., *Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et de l'apprentissage*, Dunod, 2009, 593p, ISBN 2100513656
- MAZEAU M., *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxie de l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation*, Paris, Masson, 1995, 166p, ISBN 2225850089
- MAZEAU M., *Dysphasies, troubles mnésiques, syndrome frontal chez l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation*, Paris, Masson, 1997, 248p, ISBN 222585548X
- MAZEAU M., LE LOSTEC C., *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*, Masson, 2010, 216p, ISBN 2294710223
- MAZEAU M., *Neuropsychologie et troubles des apprentissages, du symptôme à la rééducation*, Paris, Masson, 2005, 286p, ISBN 2294019296
- VAN HOUT A., MELJAC C., FISHER J-P., *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*, Masson, 2005, 425p, ISBN 2294019083
- VAN NIEUWENHOVEN C., DE VRIENDT S., *L'enfant en difficultés d'apprentissage en mathématiques*, Solal, 2010, 270p, ISBN 2353270905
- RONDAL J., SERON X., *Troubles du langage, Bases théoriques, diagnostic et rééducation*, Sprimont, Mardage, 2000, 840p, ISBN 2870097204
- TRUSCELLI D., DE BARBOT F., MAZEAU M, THUILLEUX G., et Al, *Les infirmités motrices cérébrales : réflexions et perspectives sur la prise en charge*, Paris, Masson, 2008, 473p, ISBN 978-2294611933

PERIODIQUES :

- ANCEL P-Y, 6ème journée de médecine fœtale, *Rapport INSERM*, Mortzine, 2011
- ARP S., FAGARD J., Habileté visuo-manuelle et utilisation du doigt dans le comptage chez l'enfant IMC, *CNRS*, Laboratoire cognition et développement, 2001
- ARP S., Subitizing et troubles oculomoteurs chez l'enfant IMC, *Revue ANAE*, n°78, juin 2004
- AUBRY M-J, FRANCIS C., FRANCIS M., TSIMBA V., La conjugaison des yeux au présent de l'IMC, *Motricité Cérébrale*, n°23, 2002, p126-136
- BEJOT Y., CHANTEGRET C., OSSEBY G., CHOUCHANE M., HUET F., MOREAU T., GOUYON J-B., GIROUD M., Les accidents vasculaires cérébraux du nouveau-né et de l'enfant, Revue neurologique, n°165, 2009
- CAVEZIAN C., CHOKRON S., Troubles neurovisuels et troubles des apprentissages, Entretiens d'orthophonie, 2010
- CHOKRON S., Sémiologie, évaluation et principes de rééducation des troubles neurovisuels d'origine centrale, *Glossa*, n°51, 1996, p4-16
- CHOKRON S., Troubles neurovisuels chez l'enfant : sémiologie et dépistage, *Revues générales d'ophtalmo-pédiatrie*, n°188, déc 2011
- CROTEAU P., LORANGER M ., LAPORTE P., Fonctionnement cognitif et neuropsychologie clinique des enfants atteints de déficience motrice cérébrale, *Motricité cérébrale*, 2002
- DALENS H., SOLE M., NEYRIAL M., Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé, *Journal français d'ophtalmologie*, n°29, 2006, p24-31
- DEHAENE S., MOLKO N., WILSON A., Dyscalculie, le sens perdu des nombres, *Revue La recherche*, n°379, oct 2004
- DUCARNE B., BARBEAU M., Examen clinique et mode de rééducation des troubles visuels d'origine cérébrale, *Revue neurologique*, n°137, 1981, p693-707
- DUQUESNE F., Dyscalculies de l'enfant IMC de la maternelle au collège, Cnefei Suresne, powerpoint, 2004
- INSERM rapport, Déficiences ou handicaps d'origine périnatale, Dépistage et prise en charge, 2004
- INSERM rapport, Dyslexie, dysorthographie, dyscalculie, bilan des données scientifiques, 2007, 378p
- JACQUIER M-T, Pathologies ophtalmologiques de l'enfant cérébrolésé et du polyhandicapé, *Motricité Cérébrale*, n°31, 2010, p45-59
- LACERT P., D'HEILLY N., MAUDUYT de la GREVE I., Troubles optomoteurs de l'ancien prématuré, *Motricité cérébrale*, n°21, 2000, p41-50
- LARROQUE B., et Al, Etude EPIPAGE, mars 2008
- MAZEAU M., MEURANT A., LE LOSTEC C., JOUY M-O., Les troubles de la reconnaissance des images chez l'IMC, *Motricité Cérébrale*, n°25, 2004, p31-45
- MILEA A, LEHOANG P., Anomalies de la vision d'origine centrale, *Journal français d'ophtalmologie*, n°10, déc 2002, p1073-1078
- NIEL X., Les facteurs explicatifs de la mortalité infantile en France et leur évolution récente, *Rapport INSEE 2011*
- NOEL M-P., PALMERS E., La perception umérique chez le bébé et le petit enfant : une mise en question, *Revue Enfance*, vol 55, 2003, p65-73
- PALISANO O., ROSEMBAUM P., BARTLETT D., LIVINGSTON M., Le système de classification de la fonction motrice globale, *Rapport GMFCS*, 2007

- REVOL F., Infirmités motrices d'origine cérébrale, généralités, *Rééducation orthophoniques*, 1998, n°193, p11-22
- RODE G., ROSSETTI Y., BOISSON D., Rôle de la vision dans la structuration du geste, *Motricité Cérébrale*, n°18, 1997, p41-52
- ROSENBAUM P., PANETH N., LEVITON A., GOLSTEIN M., BAX M., DAMIANO D., DAN B., JACOBSON B., The definition and classification of cerebral palsy, *Dev Med Child Neurol*, n°47, 2005, p571-576
- TRUSCELLI D., Pathologies cérébrales : troubles associés aux infirmités, *Motricité Cérébrale*, n°29, 2008, p15-22

MEMOIRES ET THESES :

- BENOIT L., *L'acquisition des codes numériques chez les enfants de 3 à 5 ans*, Thèse Montpellier, 2006
- CAREL C., *Troubles neurovisuels et apprentissage du langage écrit chez les enfants IMC ou IMOC*, Mémoire orthophonie, Lille, 2006
- CRENN A., MILJKOVIC A., *Dépistage de troubles neurovisuels chez les enfants porteurs du syndrome de Prader-Willi*, Mémoire orthophonie, Paris, 2009
- DOUTRE L., *Nourrissons atteints de paralysie cérébrale*, Mémoire, psychomotricité, Toulouse, 2012
- GUIOT M., *Exploration des conduites logiques et langagières d'enfants dyspraxiques*, Mémoire orthophonie, Nancy, 2010
- LAMOUR M., *Quel cheminement vers le langage ? Quatre enfants IMC/IMOC non-verbaux découvrent leur outil de communication*, Mémoire orthophonie, Nice, 2012
- MACHABEY E., *Déficiences motrices : impact du manque de manipulation dans le domaine logico-mathématique*, Mémoire orthophonie, Nantes, 2010
- REGINA C., « *A l'aventure Dénombre* », Mémoire orthophonie, Lille, 2012

SITES INTERNET

- Fondation Rothschild : http://www.vision-et-cognition.com/evaluation/la-batterie-eva/
- http://www.chups.jussieu.fr/polys/ophtalmo/POLY.Chp.1.2.2.html
- http://www.floiminter.net/psychology/brain_and_behaviour/hemianopsie_etc.png
- Site vision et cognition, fondation Rothschild http://www.vision-et-cognition.com/vision-et-cognition/
- http://www.troubleneurovisuel.com/
- Organisation des voies corticales http://psychocognitiv67.canalblog.com/
- Aires visuelles http://illusions-optiques.over-blog.com/pages/I_Transmission_de_limage_au_cerveau-6426945.html
- Wikipédia - Perception sensorielle http://fr.wikipedia.org/wiki/Perception#Perception_sensorielle
- http://relation-aide.com/
- GADBOIS J-P, Les dystonies et troubles du mouvement http://jeanpierre.gadbois.pagesperso-orange.fr/

ANNEXES

Annexe I : Synthèse des compétences neurovisuelles

Sujets		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Prénoms		Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
Age		8.6	10.1	10.2	12.4	12.11	16.0	16.1
Sexe (G/F)		G	F	F	F	G	G	F
Fixation et contrôle du regard (/1)		0*	1	1	1	0*	1	1
Champ visuel	1ère session (/6)	NT	5	NT	NT	NT	NT	3
	2ème session (/6)	NT	6	NT	NT	NT	NT	5
	Score total (/12)	NT	11	NT	NT	NT	NT	8
Extinction visuelle (/1)		NT	1	NT	NT	NT	NT	1
Poursuite visuelle	Yeux sur la cible (/1)	1	1	1	0	0	1	1
	Mouvements céphaliques (/1)	0	1	0	1	1	1	1
	Saccades fluides (/1)	0	1	1	0	1	0	0
	Score total (/3)	1*	3	2*	1*	2*	1*	2*
Mémoire visuelle (/4)		2*	4	4	4	4	4	3*
Barrage des nounours	1er nounours coché	0	-1	0	0	-1	1	-1
	Somme des trois premiers nounours cochés	0	0	2	-2	-2	3	-2
	Stratégie exploratoire	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
	Score total (/15)	15	14*	15	15	15	15	15
	Nombre de fausses alarmes	0	0	0	0	0	0	0
	Temps de réalisation (en sec.)	73*	47	65*	35	37	88*	65*
Barrage des A	Stratégie exploratoire	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
	Score total (/15)	13*	13*	12*	15	15	15	12*
	Nombre de fausses alarmes	0	1*	0	0	0	1*	1*
	Temps de réalisation (en sec.)	88	59	98*	40	53	96*	86*
Figures enchevêtrées (/23)		23	23	21*	23	23	23	21*
Appariement (/8)		7*	8	8	7*	8	8	6*

*score pathologique, NT non testable

Annexe II : Synthèse des opérations logiques

1. La classification

âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	isole 3 critères	isole 3 critères	isole 3 critères	isole 3 critères	isole 3 critères	isole 3 critères	isole 3 critères
96-98	isole 2 critères	isole 2 critères	isole 2 critères	isole 2 critères	isole 2 critères	isole 2 critères	isole 2 critères
93-95							
90-92	isole 1 critère	isole 1 critère	isole 1 critère	isole 1 critère	isole 1 critère	isole 1 critère	isole 1 critère
87-89							
84-86							
81-83							
78-80							
75-77							
72-74							
69-71	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères	classe selon 2 critères
66-68							
63-65							
60-62							
Classification jetons							

2. La sériation

âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes	5 dés. Correctes
96-98							
93-95							
90-92							
87-89	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes	4 dés. Correctes
84-86							
81-83							
78-80	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes	3 dés. Correctes
75-77							
72-74							
69-71							
66-68							
63-65							
60-62	2 dés corr	2 dés corr	2 dés corr	2 dés corr	2 dés corr	2 dés corr	2 dés corr
Sériation baguettes							

3. L'inclusion

âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion	inclusion
96-98							
93-95							
90-92							
87-89							
84-86							
81-83							
78-80							
75-77							
72-74							
69-71							
66-68							
63-65							
60-62							
Inclusion fleurs							

4. Les conservations

âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	cons justifiée	cons justifiée	cons justifiée	cons justifiée	cons justifiée	cons justifiée	cons justifiée
96-98	Conservation sans justification	Conservation sans justification	Conservation sans justification	Conservation sans justification	Conservation sans justification	Conservation sans justification	Conservation sans justification
93-95							
90-92							
87-89	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme	identité collections terme à terme
84-86							
81-83							
78-80							
75-77	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme	non identité collections en terme à terme
72-74							
69-71							
66-68							
63-65							
60-62							
Conservation coccinelles							
âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	cons décalage	cons décalage	cons décalage	cons décalage	cons décalage	cons décalage	cons décalage
96-98	conservation T	conservation T	conservation T	conservation T	conservation T	conservation T	conservation T
93-95							
90-92							
87-89							
81-83							
78-80	conservation écart	conservation écart	conservation écart	conservation écart	conservation écart	conservation écart	conservation écart
75-77							
72-74							
69-71							
66-68							
63-65							
60-62	non cons écart	non cons écart	non cons écart	non cons écart	non cons écart	non cons écart	non cons écart
Conservation baguettes							

Annexe III : Synthèse des opérations numériques

1. Les capacités de quantification

Prénoms		Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
Age		8.6	10.1	10.2	12.4	12.11	16.0	16.1
Sexe (G/F)		G	F	F	F	G	G	F
Comptage (niveau de chaîne : chapelet<insécable<sécable<terminale)		insécable	terminale	insécable	terminale	terminale	terminale	sécable
Pointage	Visuel	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
	Digital	NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Principes	Correspondance terme à terme	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON
	Ordre stable	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
	Non pertinence de l'ordre	NON	OUI	NON	NON	OUI	OUI	NON
	Cardinalité	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON
	Abstraction	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Subitizing		NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON
Estimation globale	De points dispersés	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
	De nombres arabes	NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON

2. L'utilisation du nombre

âge en mois	Léo	Maud	Elodie	Chloé	Paul	Thomas	Carine
99-101	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons	2yeux 3boutons
96-98	balais conservés	balais conservés	balais conservés	balais conservés	balais conservés	balais conservés	balais conservés
93-95	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés	chapeaux comptés balais comptés
90-92							
87-89							
84-86							
81-83	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés	chapeaux non comptés balais comptés
78-80							
75-77							
72-74							
69-71							
66-68							
63-65							
60-62	part sans cpter	part sans cpter	part sans cpter	part sans cpter	part sans cpter	part sans cpter	part sans cpter
Utilisation du nombre							

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS **3**

SOMMAIRE **4**

INTRODUCTION **6**

PARTIE THEORIQUE **7**

I. PARALYSIE CEREBRALE – GENERALITES 8
1. Définitions *8*
2. Prévalence *9*
3. Etiologies des facteurs de risque *10*
3.1. Paralysies cérébrales congénitales 10
3.1.1. La prématurité 10
3.1.2. Le retard de croissance intra-utérin (RCIU) 11
3.1.3. Les infections 11
a. Les infections materno-foetales 11
b. Les infections fœtales 12
3.1.4. Les souffrances anoxiques 12
3.1.5. L'ictère du nouveau-né 12
3.2. Paralysies cérébrales acquises 13
3.3. Causes inconnues 14
4. Clinique *14*
4.1. Les troubles du contrôle moteur 14
4.1.1. Classification symptomatique 14
a. Les hypertonies 14
b. Les dyskinésies 15
c. L'ataxie 16
d. Les formes mixtes 16
4.1.2. Classification topologique 16
4.1.3. Classification fonctionnelle 17
4.2. Les troubles associés 18
4.2.1. Les troubles organiques 18
a. La comitialité 18
b. Les troubles perceptifs 19
c. Les troubles respiratoires 19
4.2.2. Les troubles des fonctions cognitives 19
a. Les troubles gnosiques 19
b. Les troubles praxiques 20
c. Les troubles mnésiques et attentionnels 21
4.2.3. Les troubles neurovisuels 21
4.3. Les troubles secondaires 22
4.3.1. La fatigabilité 22
4.3.2. Les troubles psychoaffectifs 22
5. La parole *23*
5.1. Les troubles de la phonation 24
a. La respiration 24
b. La voix 24
5.2. Les troubles de l'articulation 24
5.3. Les dysarthries 25
6. Le langage *26*
7. La communication *27*
II. LES TROUBLES NEUROVISUELS CHEZ L'ENFANT CEREBROLESE 29
1. La neurovision *29*
1.1. Le fonctionnement perceptif 29
1.2. Les voies optiques intra-crâniennes et les aires visuelles cérébrales 30
1.2.1. De la rétine aux lobes occipitaux 30
a. Les voies anté-chiasmatiques 31
b. Les voies rétro-chiasmatiques 31
1.2.2. Les aires visuelles 32
a. Aires visuelles primaires 32
b. Aires visuelles secondaires et associatives 32
c. Organisation des voies corticales 33
1.2.3. Les fonctions cognitives associées 34

a. Exploration et attention visuelle ... 35
b. Organisation et représentation de l'espace ... 35
c. Reconnaissance visuelle ... 35
d. Coordination visuo-manuelle ... 36
1.3. Développement ... 36
1.3.1. Les fibres visuelles ... 37
1.3.2. Les fonctions cognitives ... 37
2. Les troubles neurovisuels ... 38
2.1. Généralités ... 38
2.1.1. Définition ... 38
2.1.2. Etiologies ... 38
2.2. Pathologies ophtalmologiques rencontrées ... 39
2.2.1. Le strabisme ... 39
2.2.2. Le nystagmus ... 40
2.3. Pathologies neurovisuelles chez l'enfant cérébrolésé ... 40
2.3.1. La perturbation de l'oculomotricité ... 40
2.3.2. Les atteintes de la vision centrale ... 42
2.3.3. Les atteintes de la vision périphérique ... 42
2.3.4. Les atteintes cognitives de la vision ... 44
a. Les troubles de la reconnaissance visuelle ... 44
b. Les troubles de l'organisation et de la représentation spatiale ... 45
c. Les troubles de l'exploration et de l'attention visuelle ... 46
d. Les troubles de la coordination visuo-manuelle ... 47
2.3.5. Les troubles associés ... 47
2.4. Les outils de dépistage ... 47
2.4.1. La périmétrie ... 47
2.4.2. L'électrophysiologie ... 48
2.4.3. La tomographie à émissions de positions (TEP) ... 48
2.4.4. Le bilan neurovisuel ... 48
III. LES COMPETENCES NUMERIQUES DE L'ENFANT PARALYSE CEREBRAL ... 50
1. La construction du nombre chez l'enfant ... 50
1.1. Les apports théoriques ... 50
1.1.1. Les travaux de Jean Piaget ... 50
a. Les stades d'évolution ... 51
b. Les capacités logiques ... 52
1.1.2. Les apports de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie ... 54
a. Modèle des compétences précoces de Gelman ... 54
b. Modèle du transcodage asémantique de Deloche et Seron ... 55
c. Modèle de McCloskey ... 55
d. Modèle de Dehaene ... 58
e. Les régions cérébrales du calcul ... 59
1.2. L'apprentissage du nombre ... 60
1.2.1. Les compétences précoces du bébé ... 60
1.2.2. L'importance des manipulations d'objets ... 60
1.2.3. L'acquisition et la manipulation des nombres ... 61
1.2.4. Les procédures de quantification chez l'enfant ... 62
a. Le dénombrement ... 62
b. Le subitizing ... 63
c. L'estimation globale ... 64
1.2.5. L'acquisition du système numérique ... 64
a. Le lexique verbal ... 64
b. le système arabe ... 65
1.2.6. Les transcodages ... 65
1.2.7. Les opérations logiques ... 66
2. L'apprentissage de la numération chez l'enfant cérébrolésé présentant des troubles neurovisuels ... 66
2.1. L'enfant paralysé cérébral et la construction du nombre ... 66
2.1.1. Difficultés rencontrées ... 67
a. La comptine ... 67
b. Les manipulations ... 67
c. Le pointage ... 68
d. Le dénombrement ... 69
2.1.2. Impact des troubles cognitifs sur le développement des compétences numériques ... 70
a. Langage, mémoire et attention ... 70
b. La logique ... 71
c. Les troubles neurovisuels ... 71
2.1.3. L'enfant cérébrolésé peut-il être dyscalculique ? ... 71

2.2. Impact des troubles neurovisuels sur l'apprentissage logico-mathématique dans le cadre de la PC 73
2.2.1. Les opérations logiques ... 73
a. La sériation ... 73
b. La classification ... 73
c. La combinatoire ... 74
2.2.2. Le nombre ... 74
a. Le dénombrement ... 74
b. Le subitizing ... 75
c. L'abstraction et l'image mentale ... 75

PARTIE PRATIQUE ... 77

I. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES ... 78
II. PRESENTATION DE LA POPULATION ... 79
1. Choix de la population ... 79
1.1. Critères d'inclusion ... 79
1.2. Critères d'exclusion ... 79
2. Recueil de la population ... 79
III. CONDITIONS DE PASSATION ... 80
IV. DESCRIPTION DES EPREUVES ... 80
1. Batterie de dépistage des troubles neurovisuels : EVA ... 81
1.1. Matériel ... 81
1.2. Epreuves de la batterie EVA ... 81
1.2.1. Epreuve de fixation et de contrôle du regard ... 81
1.2.2. Epreuve du champ visuel ... 82
1.2.3. Evaluation de l'extinction visuelle ... 83
1.2.4. Epreuve de poursuite visuelle ... 83
1.2.5. Epreuve de mémoire visuelle des formes ... 84
1.2.6. Epreuve de barrage de nounours ... 85
1.2.7. Epreuve de barrage des « A » ... 86
1.2.8. Epreuve des figures enchevêtrées ... 87
1.2.9. Epreuve d'appariement de formes ... 88
1.3. Epreuves complémentaires ... 89
1.3.1. Distinction droite/gauche et schéma corporel ... 89
1.3.2. Praxies ... 90
1.3.3. Perception des couleurs ... 90
1.3.4. Imagerie mentale ... 91
2. Test des compétences de base en mathématiques ... 91
2.1. Les capacités logiques (B-LM) ... 91
2.1.1. La sériation ... 91
2.1.2. La classification ... 92
2.1.3. La conservation ... 94
a. La conservation des quantités discontinues ... 94
b. La conservation des longueurs ... 95
2.1.4. L'inclusion ... 97
2.2. Le nombre ... 98
2.2.1. Comptage (Tedi-Math) ... 98
a. Compter le plus loin possible ... 99
b. Compter avec une borne supérieure ... 99
c. Compter avec une borne inférieure ... 99
d. Compter avec une borne inférieure et une borne supérieure ... 99
e. Compter à rebours ... 99
f. Compter par pas ... 100
2.2.2. Le dénombrement ... 100
a. Dénombrement de patterns linéaires (Tedi-Math) ... 100
b. Dénombrement de patterns aléatoires (Tedi-Math & BLM) ... 101
c. Abstraction de la qualité des objets comptés (Tedi-math) ... 102
2.2.3. Le subitizing ... 103
2.2.4. L'estimation globale (tedi-math) ... 103
a. Comparaison de patterns de points dispersés ... 103
b. Grandeur relative ... 104
2.3. L'utilisation du nombre (B-LM) ... 104
V. RESULTATS ... 107
1. Type d'analyse des résultats ... 107
2. Analyse des résultats ... 107
2.1. Léo ... 107
2.1.1. Compétences neurovisuelles ... 107

2.1.2. Epreuves complémentaires ... 108
2.1.3. Compétences logico-mathématiques ... 109
a. Capacités logiques ... 109
b. Le nombre ... 110
2.2. Maud ... 111
2.2.1. Compétences neurovisuelles ... 111
2.2.2. Epreuves complémentaires ... 112
2.2.3. Compétences logico-mathématiques ... 113
a. Capacités logiques ... 113
b. Le nombre ... 114
2.3. Elodie ... 115
2.3.1. Compétences neurovisuelles ... 115
2.3.2. Epreuves complémentaires ... 116
2.3.3. Compétences logico-mathématiques ... 117
a. Capacités logiques ... 117
b. Le nombre ... 118
2.4. Chloé ... 119
2.4.1. Compétences neurovisuelles ... 119
2.4.2. Epreuves complémentaires : ... 120
2.4.3. Compétences logico-mathématiques ... 121
a. Capacités logiques ... 121
b. Le nombre ... 122
2.5. Paul ... 123
2.5.1. Compétences neurovisuelles ... 123
2.5.2. Epreuves complémentaires ... 124
2.5.3. Compétences logico-mathématiques ... 125
a. Capacités logiques ... 125
b. Le nombre ... 126
2.6. Thomas ... 127
2.6.1. Compétences neurovisuelles ... 127
2.6.2. Epreuves complémentaires ... 128
2.6.3. Compétences logico-mathématiques ... 129
a. Capacités logiques ... 129
b. Le nombre ... 130
2.7. Carine ... 131
2.7.1. Compétences neurovisuelles ... 131
2.7.2. Epreuves complémentaires ... 132
2.7.3. Compétences logico-mathématiques ... 133
a. Capacités logiques ... 133
b. Le nombre ... 134
3. Synthèse des résultats par domaine ... 136
3.1. Compétences neurovisuelles ... 136
3.1.1. Fixation et poursuite ... 136
3.1.2. Champ visuel ... 137
3.1.3. Extinction ... 137
3.1.4. Mémoire visuelle des formes ... 137
3.1.5. Attention sélective visuelle ... 137
3.1.6. Simultagnosie ... 138
3.1.7. Analyse visuelle ... 138
3.2. Epreuves complémentaires ... 138
3.3. Compétences logico-mathématiques ... 139
3.3.1. Capacités logiques ... 139
3.3.2. Le nombre ... 141
4. Analyse et mise en relation des capacités neurovisuelles avec les compétences logiques et numériques ... 142
4.1. Léo ... 142
4.2. Maud ... 143
4.3. Elodie ... 144
4.4. Chloé ... 145
4.5. Paul ... 146
4.6. Thomas ... 147
4.7. Carine ... 147

DISCUSSION ... 149

I. LIMITES METHODOLOGIQUES ... 150
II. APPORTS DE CETTE RECHERCHE ... 150

1. Troubles neurovisuels et opérations logiques *151*
2. Troubles neurovisuels et opérations numériques *152*
3. Réflexion *153*

CONCLUSION **159**

BIBLIOGRAPHIE **160**

ANNEXES **163**

ANNEXE I : SYNTHESE DES COMPETENCES NEUROVISUELLES 164
ANNEXE II : SYNTHESE DES OPERATIONS LOGIQUES 165
1. La classification *165*
2. La sériation *165*
3. L'inclusion *166*
4. Les conservations *166*
ANNEXE III : SYNTHESE DES OPERATIONS NUMERIQUES 167
1. Les capacités de quantification *167*
2. L'utilisation du nombre *167*

TABLE DES MATIERES **168**

Gaëlle CRENN

PARALYSIE CEREBRALE : Impact des troubles neurovisuels sur les compétences logico-mathématiques, Etude de 7 enfants cérébrolésés.

172 Pages, 45 références bibliographiques

Mémoire d'orthophonie –**UNS / Faculté de Médecine – Nice 2013**

RESUME

La paralysie cérébrale est une pathologie complexe entraînant des incapacités motrices plus ou moins importantes et des déficits associés au handicap moteur notamment dans le domaine de la neurovision. Ces troubles du regard ont des conséquences sur le fonctionnement cognitif de l'enfant cérébrolésé et plus précisément sur ses acquisitions logiques et numériques.

Cette étude de sept enfants paralysés cérébraux a pour objectif d'observer l'actualisation des troubles neurovisuels dans la réalisation d'épreuves logico-mathématiques.

Dans la partie théorique, nous avons rappelé les différentes caractéristiques de la paralysie cérébrale. Nous avons également étudié les troubles neurovisuels présents dans cette pathologie. Enfin, nous avons évoqué les compétences logico-mathématiques de l'enfant cérébrolésé.

Dans la partie pratique, une analyse des résultats a permis d'objectiver les troubles du regard, de les identifier et d'en mesurer l'impact sur le raisonnement logico-mathématique. Plus largement, l'analyse clinique a permis de mettre en évidence des comportements palliatifs spontanés tels que la manipulation. Cela confirme l'importance du recours au geste décrit par J. Piaget et souligne le caractère inné et spontané de la manipulation, caractère qui n'est pas entravé par le trouble moteur bien que celui-ci soit au premier plan du tableau clinique de la paralysie cérébrale. Nous remarquons en outre que l'utilisation du langage revêt plus un caractère affectif, en tant que conduite de réassurance, que cognitif, en tant qu'étayage de la pensée. Lorsqu'il est utilisé, ce moyen de palliation n'intervient qu'en seconde intention et/ou après rééducation.

Nos conclusions ouvrent des perspectives de rééducation et soulignent la nécessité d'une approche multifocale pour ces enfants au fonctionnement atypique.

MOTS-CLES

Paralysie cérébrale, Troubles neurovisuels, Logique, Mathématiques, Etude de cas, Enfants (0-12 ans), Adolescents (12-18 ans)

DIRECTEURS DE MEMOIRE

Isabelle THUBE-POLI

Sylvie VERNOUX-VIVES

Nelly COTTA