



AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

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

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

Jane FRANCOIS

Née le 20 / 11 / 1985

ETUDE DES PERFORMANCES ATTENTIONNELLES ET DE LECTURE D'UN GROUPE D'ENFANTS TDA/H DANS 3 MODALITES D'EVALUATION : NATURELLE, EXPERIMENTALE, VIRTUELLE

Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Année Universitaire 2011-2012

Université Bordeaux Segalen - Bordeaux 2 - Département d'orthophonie

Jane FRANCOIS

Née le 20 / 11 / 1985

ETUDE DES PERFORMANCES ATTENTIONNELLES ET DE LECTURE D'UN GROUPE D'ENFANTS TDA/H DANS 3 MODALITES D'EVALUATION : NATURELLE, EXPERIMENTALE, VIRTUELLE

Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste

Année Universitaire 2011-2012

Université Bordeaux Segalen - Bordeaux 2

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail de recherche.

Je tiens à remercier sincèrement Kattalin Etchegoyhen, qui, en tant que Directrice de mémoire, s'est toujours montrée à l'écoute tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes remerciements s'adressent également au Professeur Bouvard pour m'avoir accueillie dans son service, pour s'être impliqué dans cette étude et pour avoir mis à ma disposition ses talents de statisticien.

Je remercie vivement les membres de l'équipe médicale du CCS de Charles Perrens, Dr Bioulac, Dr Gaïffas, Dr Galera, Dr Thoumy, ainsi que Christelle Labarussia et Christelle Goyon pour leur bienveillance et leur précieuse aide dans le recrutement de la population. Je remercie également Stéphanie Lallemand de m'avoir formée à la Classe Virtuelle.

Je remercie également, Caroline Vignaud, Sylvie Lafenêtre et Jennifer St Geours pour leurs encouragements et pour leur bonne humeur.

Je souhaite remercier Mario Speranza qui a su me faire confiance en me procurant le BRIEF ainsi que Cécile Choizat pour sa précieuse aide concernant cet outil.

Je remercie Paul Belhouchat, ingénieur Documentation-Web au Centre de Ressources Autisme Rhône-Alpes, sans qui je n'aurais pas eu une bibliographie aussi riche.

Merci à Natalia Piat pour la collaboration que nous avons su mettre en place autour de nos projets de recherche respectifs.

J'exprime ma gratitude à tous les enfants, leurs familles et leurs enseignants qui ont accepté de participer à cette étude.

Je remercie les membres du jury de soutenance pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Enfin, merci à Nicolas pour son soutien et surtout sa patience, mise à rude épreuve durant cette année.

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION.....	6
FONCTIONS COGNITIVES ET APPRENTISSAGES DANS LE TDA/H.....	8
1 Les fonctions exécutives.....	8
1.1 Définition.....	8
1.2 Modélisations	9
1.2.1 Modèles neuroanatomiques.....	9
1.2.2 Modèles cognitifs	10
1.3 Développement exécutif chez le jeune enfant.....	14
1.3.1 Anatomie des lobes frontaux.....	14
1.3.2 Développement du cortex préfrontal.....	16
1.3.3 Développement des fonctions exécutives chez le jeune enfant.....	17
1.4 Profil exécutif du jeune TDA/H	22
2 L'attention	23
2.1 Le concept d'attention	23
2.2 Les modèles généraux de processus attentionnels.....	24
2.3 Développement de l'attention chez l'enfant	32
2.4 Profil attentionnel de l'enfant TDA/H.....	33
3 Apprentissages et lecture.....	34
3.1 Développement des fonctions cognitives	34
3.2 Modèle des styles cognitifs et apprentissages	36
3.1 Lecture.....	39
3.2 Profil de lecture et des apprentissages du TDA/H.....	44
4 Fonctions exécutives, attention, lecture : quelles implications ?.....	47
EVALUATION DES PERFORMANCES ET CONTEXTE D ' EVALUATION :	
EVOLUTION DES CONNAISSANCES	51
1 Evaluation et mesure des performances : généralités.....	51
1.1 L'évaluation.....	51

1.2	La mesure	53
1.2.1	Historique de la psychométrie	53
1.3	Les qualités métrologiques d'un test	55
2	Les différents types d'outils d'évaluation.....	57
2.1	Direct / indirect.....	57
2.2	Informatisé / papier crayon.....	60
2.3	Ecologique / non écologique	62
2.4	Réalité virtuelle	66
3	Variabilité de la performance	70
3.1	Variables générales.....	70
3.2	Variables chez l'enfant TDA/H.....	74
METHODOLOGIE		78
1	Objectifs de l'étude.....	78
2	Présentation de la population.....	78
2.1	Présentation générale.....	78
2.2	Critères d'inclusion.....	78
2.2.1	Le diagnostic	78
2.2.2	L'âge	79
2.2.3	La scolarité	79
2.2.4	Le sexe.....	79
2.2.5	L'examen psychométrique	79
2.2.6	Le consentement parental	79
2.3	Critères d'exclusion.....	79
2.3.1	Le retard mental.....	79
2.3.2	Les troubles sensoriels.....	79
2.3.3	Les troubles psychiatriques	80
2.3.4	Les troubles spécifiques du langage écrit.....	80
2.3.5	Le redoublement scolaire	80
2.3.6	Le traitement médicamenteux	80
3	Présentation des outils utilisés.....	80
3.1	Protocole d'évaluation.....	80
3.1.1	Présentation générale.....	80
3.1.2	Données cliniques.....	81

3.1.3	Evaluation du niveau de lecture : la B.A.L.E.....	81
3.1.4	Evaluation des processus attentionnels : KITAP	81
3.1.5	Evaluation des processus attentionnels : la classe virtuelle.....	83
3.1.6	Evaluation de la tolérance à l’immersion en réalité virtuelle : l’échelle « cybersickness ».....	86
3.1.7	Evaluation de l’attention en milieu scolaire : SKAMP (Swanson, 1992)	86
3.1.8	Evaluation de la lecture et des acquis en milieu scolaire	86
3.1.9	Evaluation du fonctionnement exécutif : BRIEF	86
4	Analyse des résultats	88
PRESENTATION DES RESULTATS		89
1	Descriptif de la population	90
2	Profil attentionnel, exécutif et de lecture de notre population TDA/H	91
2.1	Performances des enfants TDA/H à la batterie KITAP.....	91
2.2	Performances attentionnelles et instabilité motrice des enfants TDA/H à la classe virtuelle	92
2.3	Profil attentionnel du groupe TDA/H évalué avec la SKAMP	93
2.4	Profil exécutif des enfants TDA/H.....	93
2.5	Performances en lecture du groupe TDA/H	95
3	Performances de notre population TDA/H selon la modalité d’évaluation.....	97
3.1	Corrélations entre les performances attentionnelles en modalité virtuelle et les performances attentionnelles en modalité expérimentale	97
3.2	Corrélations entre les performances en modalité virtuelle et les performances en modalité naturelle.....	98
3.3	Corrélations entre les performances attentionnelles en modalité expérimentale et les performances attentionnelles en modalité naturelle	100
3.4	Comparaison entre les performances en lecture en modalité naturelle et les performances en lecture en modalité expérimentale.....	101
4	Instabilité motrice et performances attentionnelles	102
5	Effet de l’âge chronologique sur les performances	103
6	Lien entre le niveau de lecture et les performances attentionnelles et exécutives des enfants TDA/H	106
6.1	Performances attentionnelles au KITAP des enfants TDA/H selon leur niveau de lecture.....	106
6.2	Performances à la classe virtuelle selon le niveau de lecture.....	107
6.3	Performances exécutives selon le niveau de lecture.....	109

7	Analyse qualitative	111
DISCUSSION		113
1	Rappel des résultats	113
2	Discussion des résultats	114
3	Limites et biais	123
3.1	La population	123
3.2	Le protocole d'évaluation	123
4	Les perspectives	124
CONCLUSION		126

INTRODUCTION

Le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est une des pathologies neurodéveloppementales les plus fréquentes en pédopsychiatrie. Sa prévalence chez l'enfant en population française est estimée entre 3,5 et 5,6 % (Lecendreux, Konofal et Faraone, 2011), ce qui fait de ce trouble un véritable problème de santé publique. Le TDA/H est caractérisé par la présence de comportements d'inattention ou d'hyperactivité-impulsivité ou par l'association de ces deux types de comportements. Pour parler de TDA/H, ces comportements ont dû apparaître avant l'âge de 7 ans et doivent entraîner des difficultés d'adaptation dans au moins deux environnements que côtoie l'enfant (le plus souvent à la maison et à l'école). Tous les enfants ne présentent pas le même profil comportemental, c'est pourquoi il se dégage trois sous-types diagnostiques : hyperactif-impulsif, inattentif ou mixte : (Guay, Lageix, Parent, 2006). Le diagnostic est porté sur un ensemble de signes : interrogatoire des parents et de l'enfant, plainte des enseignants, questionnaires spécialisés (Thomas, Vaz-Cerniglia et Willems, 2007).

L'utilisation de questionnaires dans l'évaluation de l'attention et de l'hyperactivité a permis de mettre en exergue le fait que le comportement de l'enfant peut varier d'une situation à l'autre. Certains auteurs ont alors conclu qu'on ne pouvait parler d'hyperactivité vraie que lorsque l'hyperactivité ou les troubles de l'attention se retrouvaient en milieu scolaire et en milieu familial. D'autres auteurs ont préféré mettre en évidence le fait qu'il était nécessaire d'évaluer l'enfant dans trois milieux différents (scolaire, familial et expérimental) (Thomas et Willems, 2001).

L'évaluation des performances attentionnelles chez l'enfant TDA/H est à la fois simple et complexe. Alors que les observations des parents et des enseignants convergent vers un déficit de l'attention, les tests classiques utilisés en situation duelle peuvent ne pas refléter ce déficit de par la fluctuation symptomatique selon les situations (Purper-Ouakil, Wohl et al., 2004). De plus, l'effet de la nouveauté de l'environnement dans l'expression de l'instabilité motrice a été mis en évidence par Zentall en 1985. L'apparition des outils en réalité virtuelle dans la trousse d'évaluation et de remédiation des thérapeutes, **nous amène à nous interroger sur l'effet de cette nouvelle modalité d'évaluation chez les enfants TDA/H.**

Dans ce contexte, notre travail de recherche a consisté à évaluer les performances des enfants TDA/H selon différentes modalités d'évaluation : naturelle (observation indirecte par

l'enseignant et les parents), expérimentale (relation duelle avec un examinateur) et virtuelle (immersion dans un environnement virtuel sans interaction avec un examinateur). **Quels outils d'évaluation peuvent permettre d'apprécier au mieux le fonctionnement de l'enfant TDA/H pour ainsi proposer une prise en charge adaptée ?**

Bien que le TDA/H puisse être un trouble isolé, il se retrouve souvent associé à d'autres troubles affectant le domaine des apprentissages. Cette association peut aller du simple retard d'acquisition jusqu'aux troubles des apprentissages (dyslexie, dyscalculie, dysorthographe). Le trouble de la lecture est le trouble le plus fréquemment associé au TDA/H (Thomas et Willems, 2001). Ce constat nous a amené à nous interroger sur **le lien existant entre attention, fonctions exécutives et niveau de lecture** en recherchant une double-dissociation entre les performances des mauvais et les bons lecteurs TDA/H.

Dans la première partie de ce travail, nous présenterons le développement des fonctions cognitives et des apprentissages chez l'enfant. Dans la deuxième partie, nous définirons les concepts d'évaluation et de mesure ainsi que la variabilité des performances aux tests.

Suite à cette présentation, nous exposerons notre étude et nos résultats que nous discuterons dans une dernière partie.

FONCTIONS COGNITIVES ET APPRENTISSAGES DANS LE TDA/H

1 Les fonctions exécutives

« L'activité intellectuelle [...] est déterminée par un certain *but*, une certaine *question*, à laquelle il est impossible de donner une réponse immédiate. Cette question détermine toute l'activité ultérieure du sujet en lui donnant un caractère sélectif » (Luria et Tsvetkova, 1967).

1.1 Définition

Le terme de « fonctions exécutives » (et de syndrome dysexécutif) fait aujourd'hui consensus et est préféré au terme de « fonctions frontales » (et syndrome frontal) qui renvoyait l'idée d'une atteinte frontale isolée. En effet, depuis la célèbre observation anatomo-clinique de Phineas Gage par Harlow en 1868, les différentes études cliniques menées et la technique en imagerie cérébrale ont permis de mettre en exergue d'autres régions cérébrales impliquées dans le fonctionnement exécutif. Toutefois il existe une importante hétérogénéité quant aux résultats de ces études menées, comme le rapportent D'Esposito et al. (1995) et Adcock et al. (2000) cités par Collette (2004).

Bien que le concept de fonctions exécutives se retrouve fréquemment dans la littérature neuropsychologique, celui-ci n'a toujours pas de définition formelle. Les fonctions exécutives renvoient à des fonctions supérieures opérant dans des situations non-routinières, nouvelles, conflictuelles ou lors de la réalisation d'une tâche complexe (Godefroy, 2003). Ces situations nécessitent l'intervention de mécanismes de contrôle regroupant un certain nombre de processus distincts tels que l'inhibition de réponses prédominantes, l'initiation de comportements, la planification de l'action, la génération d'hypothèses, la flexibilité cognitive, le jugement et la prise de décision, l'exploitation de feed-back (Collette, 2004).

L'étude des fonctions exécutives ainsi que leur localisation cérébrale sont confrontées à divers problèmes méthodologique et théoriques. Tout d'abord l'évaluation des tâches exécutives est moins pure que celle de tâches non exécutives, ainsi une mauvaise performance à la composante non exécutive du test peut influencer sur les résultats obtenus à la tâche exécutive. De plus, de nombreux tests existent pour évaluer une même composant exécutif, comme par exemple l'inhibition qui peut être évaluée par l'épreuve de Stroop (Stroop, 1935), par

l'épreuve de Hayling (Burgesse et Shallice, 1996) ou par une épreuve de go /no go. Tous les auteurs ne s'accordent pas sur la fonction évaluée par une même épreuve. Ainsi, certains utilisent l'épreuve de classement de cartes de Wisconsin (Milner, 1963) pour évaluer les processus d'inhibition alors que d'autres l'utilisent pour évaluer la flexibilité (Naghama et al.1996). Cette ambivalence est due au fait que la plupart des tâches exécutives mettent en jeu d'autres composantes exécutives que celle qui est censée être évaluée (Van der Linden, 1999). Le manque de congruence entre processus exécutif et tâche rend difficile l'exploration d'une fonction exécutive spécifique.

L'absence de test évaluant une performance exécutive pure et la part non exécutive des tests exécutifs peuvent aussi expliquer les discordances de la littérature quant à la localisation cérébrale des fonctions exécutives. Toutefois, les nombreuses études menées pour tenter d'explorer les substrats cérébraux du fonctionnement exécutif, s'accordent sur le rôle principal des régions préfrontales.

1.2 Modélisations

1.2.1 Modèles neuroanatomiques

Il existe de nombreux modèles théoriques du fonctionnement du lobe frontal, nous évoquerons ici ceux qui nous paraissent les plus importants.

- L'approche de Luria (1967)

Luria exploite l'idée d'un lobe frontal constitué de trois sous-unités, chacune de ces sous-unités sous-tendant des mécanismes psychologiques spécifiques :

- La région prémotrice : assure l'organisation dynamique de l'activité
- La région dorso-latérale : lieu de confrontation entre les informations venues du milieu intérieur et celles du milieu externe. Cette rencontre donne lieu à la décision d'action, à sa planification et à son contrôle. Luria ajoute que dans le cadre d'une atteinte de cette région, le patient ne critique pas ses performances (en lien avec la perte du contrôle) et que la verbalisation ne participe pas à l'amélioration (perte du rôle régulateur du langage).
- La région médio-basale : assure le maintien de l'activité tonique et la synthèse des informations provenant du milieu interne. L'atteinte de cette région engendrerait un déficit de la sélectivité (mauvaise inhibition des stimuli non pertinent) lors de la réalisation d'une activité.

- Le modèle de Fuster (1997)

Fuster a développé son modèle suite à des travaux en électrophysiologie conduits chez les primates. L'idée majeure de ce modèle est de penser le rôle du cortex préfrontal comme celui d'une mémoire de travail. Il l'imagine comme un lieu de stockage temporaire de la représentation d'une information passée pour guider l'action en cours jusqu'à sa réalisation. Fuster conçoit cette idée comme un engagement spécifique du cortex préfrontal dans la représentation de la structure temporelle des conduites. Son rôle est alors d'unir les différents événements essentiels des actions finalisées, lorsqu'elles sont nouvelles ou complexes. La structuration temporelle est tributaire des objectifs poursuivis et est maintenue jusqu'à leur réalisation (Allain et Le Gall, 2008). Selon le modèle de Fuster, cela est assuré par :

- La mémoire active (mémoire à court terme), constituée de séquences comportementales anciennes. Elle permet de rapporter des aspects de séquences comportementales passées à une conduite actuelle. C'est une fonction rétrospective.
- La fonction de préparation motrice permet d'élaborer des programmes d'action et donc de planifier un comportement. Elle permet donc l'anticipation des événements. C'est une fonction prospective mais étroitement liée à la précédente car l'expérience passée appuie l'élaboration et l'ajustement des programmes.
- La fonction d'inhibition est chargée de supprimer les interférences externes ou internes. Elle serait liée à l'attention.

1.2.2 Modèles cognitifs

- Norman et Shallice (1980)

Actuellement, la conception prédominante des fonctions exécutives est celle de Shallice (Meulemans, 2006). Le modèle de Norman et Shallice a été imaginé pour représenter les différents niveaux de contrôle de l'action. Les auteurs distinguent d'une part les activités réalisées de manière automatique dans la vie quotidienne, comme par exemple actionner l'interrupteur quand on rentre chez soi, ce qui requiert peu d'attention. D'autre part, ils distinguent les activités non routinières, nouvelles, comme par exemple se rendre en voiture quelque part pour la première fois, ce qui requiert un plan d'action et un contrôle attentionnel.

L'unité principale de ce modèle est le schéma d'action, qui correspond à des routines d'actions rodées, habituelles, sur-apprises. L'activation d'un schéma d'action est donc peu

coûteuse d'un point de vue attentionnel. Les schémas sont hiérarchisés en schémas de haut niveau (contrôler les panneaux de signalisation quand on est au volant) ou de bas niveau (enlever ses chaussures quand on arrive chez soi). Chaque schéma possède un niveau d'activation résultant d'un équilibre entre l'excitation et l'inhibition dont il est l'objet (Seron, Van der Linden et Andrès, 1999). Lorsqu'un schéma de haut niveau est enclenché, tous les schémas de bas niveau qui lui sont associés sont également activés. Des informations perceptives de l'environnement, le résultat d'un schéma d'action, des stimuli de l'environnement ou des informations internes (provenant du sujet lui-même) vont déclencher un nouveau schéma d'action.

Certaines situations familières peuvent activer plusieurs schémas d'actions simultanément. Le gestionnaire de conflit va alors intervenir pour sélectionner le ou les schémas les plus pertinents, en fonction du but poursuivi, au moyen d'un mécanisme d'inhibition.

Cependant, l'existence du gestionnaire de conflit n'explique pas la distinction entre action volontaire et action involontaire (Shallice, 1995) (Shallice donne l'exemple de William James qui monte dans sa chambre pour se changer et se retrouve dans son lit).

Par conséquent, Norman et Shallice soutiennent l'existence d'un système supplémentaire, le système attentionnel de supervision (S.A.S), impliqué dans l'élaboration des actions volontaires mais aussi dans les situations où la sélection routinière d'actions a été inefficace. En d'autres termes, le système attentionnel de supervision interviendrait dans 5 types de situations (Allain et Le Gall, 2008) :

- les situations nécessitant une planification et/ou une prise de décision
- les situations entraînant la correction d'erreurs
- les situations nouvelles qui requièrent de nouveaux apprentissages
- les situations dangereuses
- les situations nécessitant l'inhibition de réponses fortement renforcées.

Le chemin de contrôle par le S.A.S est plus lent et délibéré que celui du gestionnaire de conflit, mais en revanche il est plus flexible (Seron et al., 1999).

Lhermitte (1983) cité par Shallice (1995) décrit un comportement d'utilisation chez certains patients « frontaux » (un verre et une bouteille placés face au patient ont induit une utilisation des objets alors qu'aucune directive n'avait été donnée) qui correspondrait à la manière de fonctionner du gestionnaire de conflit lorsqu'il n'est pas soumis au SAS. Fuster (1980) cité par Shallice (1995), rapporte l'existence d'indices importants de la distractibilité et de

l'hyperactivité des animaux frontaux dans une situation nouvelle. Les études menées chez l'animal avec lésion frontale rapportent des déficits dus à un trouble attentionnel. D'après ce modèle, on peut concevoir la conséquence d'une lésion frontale comme une carence du S.A.S endommagé qui laisse alors le gestionnaire de conflit fonctionner de façon inadéquate (Shallice, 1995).

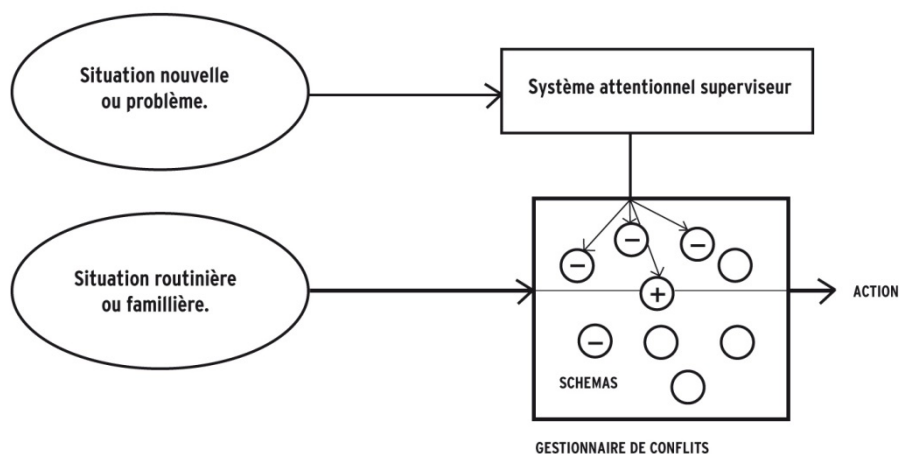


Figure 1 : Modèle du contrôle attentionnel de Norman et Shallice , proposé en 1980 (image adaptée par Seron et al. 1999)

Shallice et Burgess (1991) proposent un fractionnement du S.A.S et en isole plusieurs composantes : la détection d'un but, la formulation, la création de marqueurs (indique au sujet qu'une action future ne doit pas être traitée de façon automatique), le déclenchement de ces marqueurs et l'ajustement aux objectifs.

Ce modèle semble être le plus abouti pour expliquer les déficits dans la vie quotidienne. D'autres modèles se sont appuyés sur le concept de mémoire de travail. Dans ce cas, les fonctions exécutives seraient à rapprocher du processus de manipulation d'informations, stockées temporairement en mémoire (Lechevalier, Eustache et Viader, 2008).

- Baddeley (1986)

Les relations entre lobes frontaux et mémoire de travail ont été étudiées via diverses procédures et dans différentes pathologies (Collette, André, Van der Linden, 1999). Il semble difficile de parler de mémoire de travail sans évoquer le modèle développé par Baddeley et Hitch (1974) et Baddeley (1986). Ils définissent la mémoire de travail comme un système de capacité limitée permettant le maintien temporaire d'informations et leur manipulation. Ce système est nécessaire lors de la réalisation de diverses tâches cognitives. Il se compose de :

- Un administrateur central qui est un système de gestion attentionnel des systèmes esclaves. Il sélectionne, coordonne et contrôle les opérations de traitement. Pour Baddeley (1996), son rôle est essentiel dans les tâches mettant en jeu la flexibilité, l'attention sélective (plus particulièrement les processus d'inhibition) mais aussi dans la conduite de doubles tâches et dans l'activation de la mémoire à long terme.
- Deux systèmes esclaves que sont la boucle phonologique (stockage temporaire des informations verbales) et le calepin visuo-spatial (stockage temporaire des informations visuelles et spatiales).

Baddeley ajoutera en 1996 un système supplémentaire : la mémoire tampon épisodique (ou « buffer épisodique »). Ce système permet le stockage temporaire d'informations multimodales et l'intégration des informations provenant des systèmes esclaves et de la mémoire à long terme. Le buffer épisodique serait une interface avec la mémoire épisodique à long terme.

Selon Baddeley (cité par Collette et al., 1999), il existe une relation étroite entre mémoire de travail et attention. De fait, il propose que les fonctions attribuées au S.A.S de Norman et Shallice (1980) seraient les mêmes que celles de l'administrateur central de la mémoire de travail.

Morris et Jones (1990) ont proposé une autre fonction importante de l'administrateur central, à savoir le processus de mise à jour.

- Miyake (2000)

Dans ce contexte de débat sur l'unicité ou la diversité des fonctions allouées à l'administrateur central, Miyake, Friedman et Emerson (2000) ont tenté de déterminer dans quelle mesure, les fonctions exécutives les plus fréquemment citées peuvent être considérées comme unitaire ou non unitaires. Pour cela, ils ont étudié les processus de relations entre flexibilité mentale, inhibition de réponses dominantes et mise à jour. Leurs résultats indiquent

que ces trois processus sont clairement distinguables mais qu'il existe cependant certaines relations entre eux. En d'autres termes, la flexibilité, l'inhibition et la mise à jour possèderaient des processus en commun. Les auteurs émettent deux hypothèses pour l'expliquer : ces processus communs relèveraient soit de la nécessité du maintien en mémoire de travail du but et du contexte de la tâche, soit de la mise en œuvre de processus inhibiteurs (Meulemans, 2006).

1.3 Développement exécutif chez le jeune enfant

1.3.1 Anatomie des lobes frontaux

Les lobes frontaux sont situés en avant de la scissure de Rolando et au-dessus de la scissure de Sylvius. Ils sont constitués de trois régions :

- En avant de la scissure de Rolando on distingue le cortex moteur primaire, correspondant à l'aire 4 de Brodman. Il détermine la motricité volontaire.
- En avant du cortex moteur primaire se trouve le cortex pré-moteur correspondant à l'aire 6 et à l'aire motrice supplémentaire de Brodman. Il permet la programmation motrice volontaire.
- En avant des aires pré-motrices se situe le cortex préfrontal

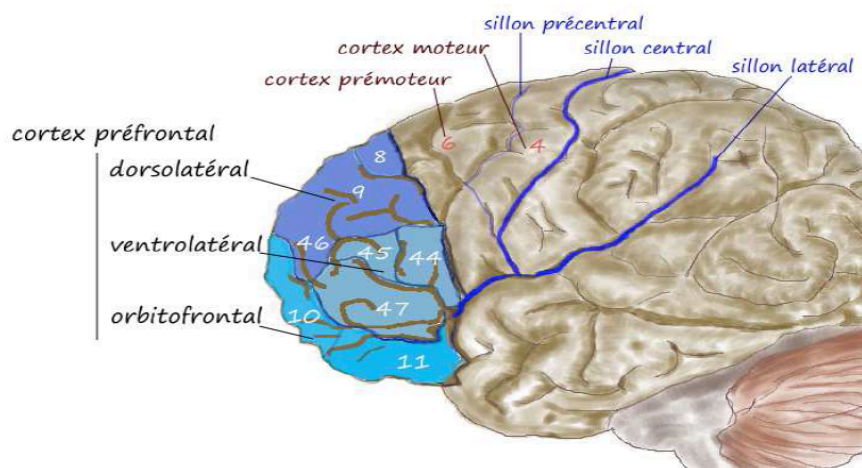


Figure 2 : Vue latérale du cortex préfrontal (© Wikimedia Foundation)

Le cortex préfrontal est le cortex associatif du lobe frontal. Comme le précise Roy en 2007, l'attribution au cortex préfrontal des fonctions exécutives concorde avec les particularités évolutives du cerveau humain : notamment l'augmentation de la taille des zones d'association multimodales préfrontales, ainsi qu'une plus grande quantité de la substance blanche dans les régions préfrontales.

Chez le primate, humain ou non humain, le cortex préfrontal a trois régions anatomiques principales :

- La région latérale correspondant aux aires 8, 9, 10, 11, 44, 45, 46, de Brodman
- La région médiale correspondant aux aires 8,9, 10, 11, 12, 24, 32 de Brodman
- La région orbitaire correspondant aux aires 10, 11, 13, 47 de Brodman

Mis à part quelques aires spécifiques (comme par exemple l'aire 8 largement consacrée à la fixation et aux mouvements oculaires), il n'est pas possible d'imputer une fonction physiologique spécifique à une aire préfrontale. Toutefois, il semble évident que le cortex préfrontal a une fonctionnalité hétérogène et qu'il a un rôle critique dans l'organisation d'actions comportementales, langagière et cognitive (Fuster, 2002).

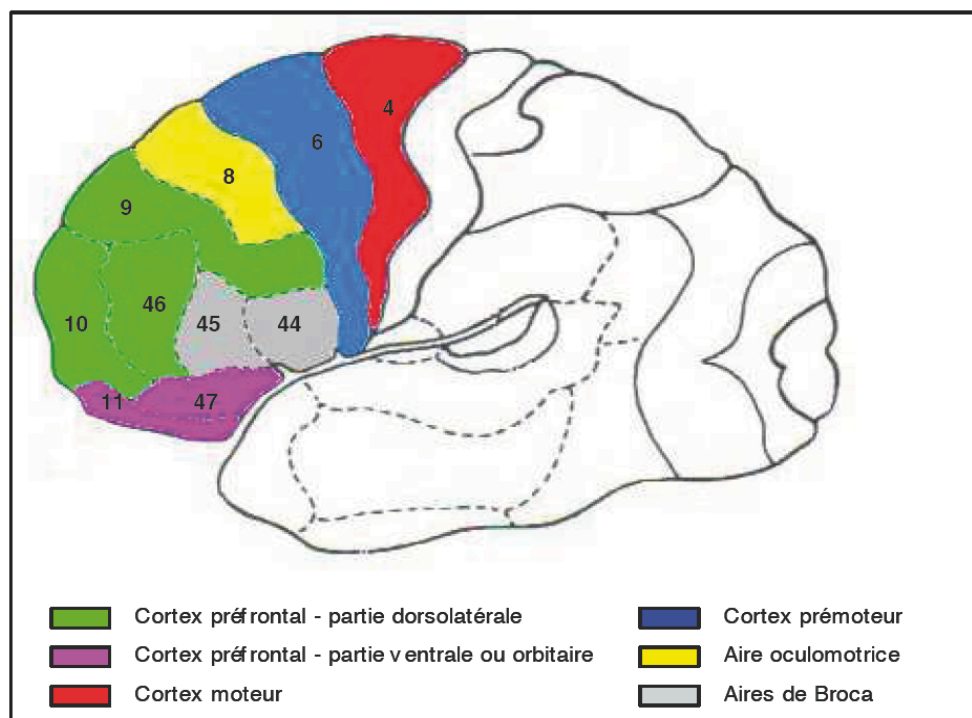


Figure 3 : Représentation des différentes zones du lobe frontal à partir des aires citoarchitectoniques de Brodman (face externe). Adapté de Gil (1996) et Dennis (2006), d'après Roy (2007).

Le cortex préfrontal reçoit des projections directes de tout le néocortex sensoriel ipsilatéral et reçoit également des projections du cortex controlatéral. « Un point important est que les circuits thalamo-corticaux renvoient au cortex préfrontal une « copie » de son influence sur les structures motrices sous-corticales, ce qui lui permet de contrôler le comportement en cours » (Mercier et al., 1999). Le cortex préfrontal établit de nombreuses connections avec des structures corticales, sous-corticales et limbiques telles que :

- Le thalamus
- Le système limbique
- Les aires pré-motrices
- Les aires sensorielles associatives
- Le cervelet

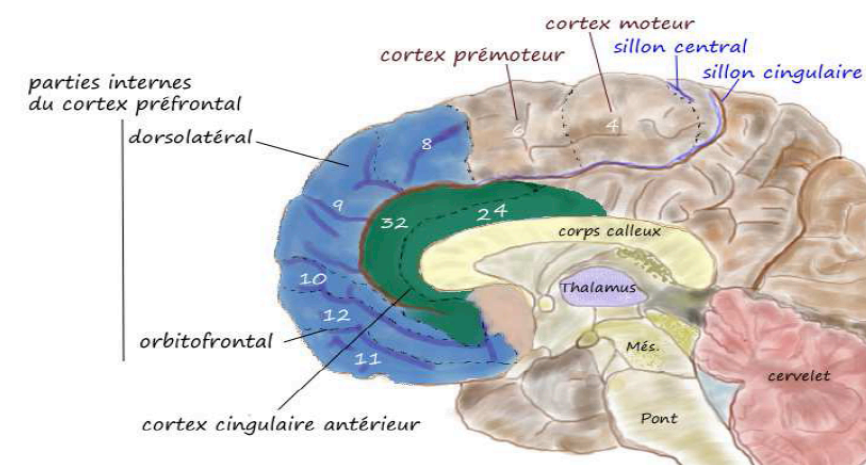


Figure 4 : Vue médiale du cortex préfrontal (© Wikimedia Foundation)

1.3.2 Développement du cortex préfrontal

Le cortex préfrontal est l'une des régions corticales qui se développe le plus et le plus longtemps. Gotgay et al. (2004), cité par Roy (2007), ont confirmé que la maturation frontale se déroulait de façon postéro-antérieure, en débutant dans le cortex moteur primaire pour se répandre antérieurement, le cortex préfrontal étant le dernier à se développer.

Pfefferbaum et al. (1994) et Giedd et al. (1999), cités par Fuster (2002), rapportent que la maturation de la matière grise a un développement différent de celui de la matière blanche. La

matière grise préfrontale semble augmenter en terme de volume après la naissance, avant d'atteindre son apogée à un certain moment entre 4 et 12 ans et de décliner ensuite. L'augmentation de la matière grise coïncide avec la diminution de 40 % de la densité synaptique. A l'inverse du développement de la matière grise, le volume de matière blanche préfrontale augmente durant l'enfance et la pré-adolescence. L'étude de Sowell (1999) démontre que cette augmentation continue chez l'adolescent, le post-adolescent et le jeune adulte.

Il est désormais clairement démontré, en se basant sur des données neuropsychologiques et linguistiques que le développement cognitif de l'enfant est dépendant du développement de la myélinisation corticale (Gibson, 1991 cité par Fuster, 2002), la myéline améliorant la vitesse de conduction axonale (capacité à transmettre des messages). La myélinisation du cortex préfrontal se poursuit durant les premières années de vie, la maturation synaptique et dendritique atteignent un niveau stable à l'adolescence (Fuster, 2002).

La dernière caractéristique du cortex préfrontal est sa forte concentration en dopamine. Les axones des neurones dopaminergiques se projettent vers les ganglions de la base (principalement le striatum) et vers le cortex (principalement frontal) (Haber, 2003, cité par Landmann, 2007). La dopamine est un neurotransmetteur qui est chargé de transmettre l'information entre les neurones. Brozoski, Brown, Rosvold & Goldman (1979) cités par Roy (2007) ont montré qu'une réduction sélective de la dopamine dans le cortex préfrontal (région dorso-latérale) entraînait un déficit cognitif. Ces résultats ainsi que la forte concentration en dopamine dans le cortex pré frontal laissent à penser que la dopamine a aussi un rôle à jouer dans la maturation des fonctions exécutives.

Le développement cognitif de l'enfant et de l'adolescent apparaît comme fortement corrélé au développement du cortex préfrontal. Cette corrélation est évidente lorsqu'on regarde l'évolution chronologique des fonctions cognitives du cortex préfrontal qui contribuent le plus à la maturation intellectuelle : l'attention, le langage et la créativité. Ces fonctions dépendent de la capacité à organiser son comportement et sa pensée pour exécuter des actions orientées vers un but (Fuster, 2002).

1.3.3 Développement des fonctions exécutives chez le jeune enfant

Le développement des fonctions exécutives est précoce. En effet, la consommation de glucose dans les régions préfrontales augmente de manière importante entre 8 et 11 mois (Chugani et al., 1987, cités par Roy, Gillet, Lenoir et al., 2005). Cette augmentation est corrélée à la mise

en place du comportement intentionnel observable à cet âge. Cela indique que la maturation tardive du cortex préfrontal n'empêche pas certaines fonctions exécutives, censées en dépendre en partie, d'être précocement opérationnelles. Des études développementales ont apporté des preuves évidentes concernant le développement en paliers des fonctions exécutives et de l'attention, dont les différentes composantes se développent à différents moments, depuis l'enfance jusqu'à l'adolescence (Welsh & Pennington, 1988, cités par Klenberg et Korkman, 2001).

Le développement normal des fonctions exécutives joue un rôle important dans le développement des compétences sociales et intellectuelles, permettant à l'enfant de rentrer dans des apprentissages scolaires. Bien que l'intérêt pour l'étude du développement des fonctions exécutives dans l'enfance ait grandi, les études portant sur le développement précoce sont limitées par le manque d'outils de mesure adéquats. Une plus grande précision dans l'évaluation des fonctions exécutives chez l'enfant concourrait d'une part, à donner plus de valeur aux travaux scientifiques et d'autre part à clarifier le développement de ces fonctions. De plus, cela participerait à une meilleure compréhension de la construction des relations cerveau-comportement, à une conception de l'influence génétique et environnementale sur ces relations et à comprendre comment ces relations donnent lieu à des conséquences développementales spécifiques (Blair, Zelazo et Greenberg, 2005).

- Inhibition et mémoire de travail

La mémoire de travail sert pour la rétention et la manipulation d'informations. Elle dépend du cortex préfrontal (Fuster, 1997). Elle se décline en mémoire de travail verbale, motrice et visuo-spatiale. Le déficit de la mémoire de travail a une importance centrale dans le TDA/H (Barkley, 1997).

Des tâches issues des paradigmes néo-piagétien indiquent des progrès importants de mémoire de travail entre 2 et 6 ans (Roy, 2007). Dès 1981, Dempster précise la relation entre l'âge chronologique et la taille de l'empan (empan verbal et numérique). Les performances sont multipliées par trois en quelques années : 2 items à 2 ans, 4 items à 5 ans, 5 items à 7 ans, 6 items à 9 ans, et les performances adultes sont atteintes vers 11-12 ans.

Le modèle de Baddeley décrit deux sous-systèmes entrant dans le traitement des informations verbales : la boucle phonologique (stockage phonologique passif) et la boucle articulatoire (répétition subvocale active). En tenant compte de la dissociation entre boucle phonologique

et récapitulation articulatoire, Thorn et Gathercole (2000) cités par Gaonac'h et al. (2005) montrent que la boucle phonologique est fonctionnelle dès 3 ans, alors que l'émergence de la récapitulation articulatoire est plus tardive (vers 7 ans).

Les données sur le développement de l'empan visuo-spatial sont plus hétérogènes en raison de la variété des tests utilisés pour son évaluation. Pour beaucoup d'auteurs le développement de l'empan visuo-spatial est plus tardif (5-6 ans) que celui de l'empan verbal (Gaonac'h et al., 2005). Une étude de De Agostini et al. (1996) précise que l'empan visuo-spatial mesuré avec le test des cubes de Corsi, passe de 3,2 pour les 4 ans à 4,7 pour les 7 ans.

Les données relatives au développement de l'administrateur central sont peu nombreuses du fait de la variété de fonctions allouées à l'administrateur central. Les tâches d'empan numérique envers (nécessitant stockage et manipulation de l'information) évaluent facilement le fonctionnement de l'administrateur central. Les données les plus nombreuses attribuent un caractère tardif de son développement. Plusieurs auteurs s'accordent pour dire que ce développement n'est pas linéaire. Luciana et Nelson (1998) relèvent des pics d'augmentation vers 4-5 ans puis vers 8 ans. Hernandez et al. (2002) confirment la présence de plusieurs paliers vers 4-6 ans et 8-12 ans.

La capacité d'inhiber des informations et des actions non pertinentes devient de plus en plus efficace avec l'âge. L'inhibition a une trajectoire développementale durant les années préscolaires (Roy, 2007). De nombreuses études portant sur le développement normal ont montré que cette capacité cognitive se développait tout au long de l'enfance. Selon Barkley (1997), l'inhibition est la première fonction exécutive qui se développe et qui permet aux autres fonctions exécutives de se développer. L'inhibition soutient par exemple la flexibilité mentale qui requiert une flexibilité attentionnelle entre les stimuli ou les tâches (Miyake et al. 2000 ; Blair et al. 2005). Une étude de Durston et al. (2002) en IRM chez l'enfant et l'adulte, indique et confirme la maturation continue entre 6 et 10 ans du circuit fronto-striatal qui sous-tend le développement de la capacité d'inhibition. Pour étudier le développement de l'inhibition, Diamond, Kirkham et Amso (2002) ont utilisé des variantes de la tâche jour/ nuit (il s'agit de dire « jour » quand on présente une image de soleil, et « nuit » quand on présente une image de la lune). Leurs résultats révèlent que dès 4 ans, l'enfant est capable d'inhiber un mot si celui-ci n'est pas relié sémantiquement au mot qu'il essaie de dire (ce qui réduit la charge inhibitrice). De plus, lorsqu'ils ont contraint l'enfant à prendre plus de temps avant de répondre, l'épreuve de type jour/nuit est réussie dès 4 ans. Les performances aux tâches de

génération aléatoire (émettre aléatoirement un nombre ou une lettre) nécessitant l'inhibition de séquences automatisées, s'améliorent de l'âge de 7 ans à l'âge adulte (Gaonac'h et al, 2005).

Klenberg et Korkman. (2001), ont réalisé une étude utilisant une dizaine de subtests de la NEPSY, auprès de 400 enfants âgés de 3 à 12 ans. Les résultats à l'épreuve de « la statue » montrent une amélioration de la résistance aux distracteurs sonores entre 3 et 6 ans. A 6 ans, l'épreuve est réussie, les performances sont alors comparables à celles des enfants de 12 ans. Cette épreuve semble sensible chez les enfants TDA/H (Korkman et al. 2003, cité par Roy et al. 2005). Une étude de Levin et al. (1991) citée par Sobeh et Spijkers (2011) ne rapporte aucune amélioration significative de l'inhibition après 12 ans. Au vu de leurs résultats, Klenberg et al. (2001) ont conclu que le développement des fonctions exécutives et attentionnelles était progressif chez l'enfant, selon des moments différents en fonction de la composante. De plus, ils envisagent l'existence de facteurs sous-tendant les performances : l'attention visuelle sélective et l'attention auditive, la fluence et l'inhibition.

- Flexibilité et déduction de règles

La flexibilité mentale se définit comme la capacité à s'adapter à une nouvelle tâche, à alterner entre différentes tâches ou à passer d'une tâche à une autre. Un trouble de la flexibilité a pour conséquences des persévérations sur des stratégies inadaptées à la situation.

Le test de classement de cartes de Wisconsin (Wisconsin Card Sorting test, WCST ; Grant et Berg, 1948) est une tâche multicomposite faisant intervenir la flexibilité mentale. L'étude de Chelune et Baer (cités par Roy et al. 2005) rapporte une amélioration des performances avec l'âge. Ainsi, les enfants les plus jeunes (6 -7 ans) commettent plus d'erreurs persévératrices et découvrent moins de catégories que leurs aînés. Toutefois, ces erreurs persévératrices peuvent être expliquées par les difficultés pour le jeune enfant à percevoir le critère nombre de la tâche, ce qui souligne les limites d'interprétation clinique de cet outil. Le Children's Color Trails Test (Llorente, Williams et al., 2003) a été développé suite aux limites de la sensibilité du WCST. Cette épreuve est fondée sur les marqueurs du développement cognitif. Dans la première partie l'enfant doit relier le plus vite possible des cercles numérotés de 1 à 15 dans l'ordre (les nombres pairs sont sur fond rose et les impairs sur fond jaune). Dans la seconde partie, la consigne est la même mais l'enfant doit alterner entre les cercles jaunes et roses en sachant que chaque nombre est imprimé dans les deux couleurs. Llorente et al. (2003) indiquent une réduction progressive du temps de réalisation et des erreurs de séquence couleur

avec l'âge. Les enfants présentant un trouble spécifique des apprentissages avec ou sans TDA/H sont significativement plus en difficulté aux deux parties de ce test.

Le test de Brixton (tâche d'abstraction et de déduction de règles opératoires) a été adapté chez l'enfant par Shallice, Gian et Marzocchi (2002). Dans leur étude originale, le score de réussite progresse significativement entre 7-8 ans et 9-12 ans. Une étude de Lehto et Uusitalo (2006) utilisant la version pour enfant du test de Brixton, indique une maturation précoce de la flexibilité entre 3 et 5 ans. L'application clinique du test de Brixton chez des enfants TDA/H indique d'une part, des résultats significativement plus faibles que ceux des enfants contrôles. D'autre part, le profil de l'enfant TDA/H à cette épreuve se rapproche de celui de patients frontaux adultes (Shallice et al.2002).

La flexibilité semble bénéficier d'un développement en paliers et être tributaire des capacités d'inhibition. La période préscolaire (4-5 ans) correspondrait à un premier pic développemental, le second pic se situerait entre 5 et 7 ans. La flexibilité aurait un développement prolongé après 7 ans (Roy, 2007).

- Planification et résolution de problèmes

La planification est la capacité d'identification et d'organisation des diverses étapes nécessaires pour mener à bien une action. Welsh, Pennington et Groisser (1991) ont montré que la mise en place de stratégie et la capacité de planification à la tâche de la tour d'Hanoï avec 3 disques étaient matures dès l'âge de 6 ans, mais l'utilisation de la version avec 4 disques indiquent une amélioration prolongée des performances après 12 ans.

De même, les données obtenues à la Tour de Londres chez l'enfant indiquent de meilleures performances avec l'âge (Roy et al. 2005). Luciana et Nelson (1998) ont montré que les résultats à la tour de Londres d'enfants de 4 ans sont égaux, pour des problèmes simples, à ceux d'adultes. A l'inverse, pour des problèmes plus complexes, les performances d'enfants de 12 ans ne sont pas au même niveau que celles des adultes.

L'ensemble des études citées dans cette partie, indiquent une évolution des performances, certes liée à l'âge mais qui dépend aussi du type de tâche proposée. Il est important de rappeler que les stades de développement sont « directement liés au degré de difficulté des tâches ce qui ne permet pas de conclure que les différentes fonctions supposées évoluent selon des horaires différents » (Zesiger, 2009).

1.4 Profil exécutif du jeune TDA/H

Partant des similarités cliniques observées chez des patients présentant des lésions frontales et chez des patients présentant un TDA/H, le postulat d'un dysfonctionnement des régions préfrontales dans le TDA/H a été posé. Les neurosciences ont permis de vérifier cette hypothèse et ont montré que le TDA/H serait avant tout « l'expression clinique d'un déficit des fonctions exécutives et attentionnelles », en mettant en évidence un déficit du contrôle inhibiteur (mis en exergue dans des tâches de type go – no go) (Berquin, 2005). L'hypothèse d'un déficit du contrôle inhibiteur est aujourd'hui majoritairement retenue (Laberge, 1998).

- Le modèle de Barkley

Barkley développe ce modèle en 1997, en s'inspirant des travaux de Bronowski et Fuster, pour répondre à un besoin. Tout d'abord, à cette époque la plupart des recherches sur le TDA/H sont athéoriques, descriptives et exploratoires. Ensuite, la perception du trouble est purement descriptive de deux déficits comportementaux : l'inattention et l'hyperactivité-impulsivité, qui n'expliquent pas les nombreux déficits cognitifs et comportementaux associés. Enfin, il était important de comprendre et discerner les différents sous types du TDA/H (Barkley, 1997). Le modèle de Barkley se propose de comprendre le fonctionnement des sujets présentant un TDA/H de type hyperactif-impulsif ou de type combiné (Barkley exclut le type « inattention prédominante » car selon ce modèle c'est un groupe distinct). Ce modèle théorique s'appuie sur le déficit d'inhibition comportementale, considéré comme central (Albaret, 2005). L'inhibition comportementale comprend trois processus en interaction permettant :

- l'inhibition de la réponse « habituelle » face à un événement
- l'arrêt de la réponse en cours autorisant un délai de réflexion
- le contrôle des interférences pouvant apparaître après l'inhibition de la première réponse

Ce déficit de l'inhibition aurait un retentissement sur le comportement et sur quatre fonctions exécutives que sont la mémoire de travail verbale, l'internalisation du langage (qui permet la structuration et l'organisation de nos comportements), l'autorégulation des affects, de la motivation et de l'éveil, la reconstitution (capacité à organiser des éléments d'une façon originale, à résoudre des problèmes nouveaux en faisant preuve de créativité et de flexibilité). De nombreuses études ont montré une mémoire de travail déficitaire chez les enfants TDA/H comparés aux contrôles (Barkley, 1997; Mc-Innes Humphries et al. 2003). L'étude de Wodka,

Mahone et Blankner (2007) confirme un déficit primaire de l'inhibition chez les TDA/H comparés aux contrôles. Dans leur protocole, les auteurs ont distingué 3 épreuves d'inhibition (épreuve d'inhibition pure, épreuve d'inhibition faisant intervenir la mémoire de travail et épreuve d'inhibition avec récompense motivationnelle). Leurs résultats indiquent que l'inhibition de réponses, indépendamment de la présence d'autres demandes exécutives (ex : mémoire de travail), est le déficit primaire chez les enfants TDA/H.

Des études portant sur la cognition de l'enfant présentant un TDA/H comorbide à un trouble spécifique des apprentissages, indiquent des performances déficitaires aux mesures exécutives mais une intelligence dans la norme (Blair et al., 2005).

- Le modèle de Sonuga-Barke (2002)

Sonuga Barke propose un modèle à deux voies pour expliquer l'expression des symptômes retrouvés dans les différents sous-types du TDA/H. Dans une première voie, le TDA/H est le résultat d'un déficit du contrôle inhibiteur engendrant les troubles cognitifs (syndrome dysexécutif) et comportementaux. La seconde voie, motivationnelle, expliquerait l'aversion pour les délais (« delay aversion ») chez les enfants TDA/H. Cette aversion s'expliquerait par une altération des mécanismes fondamentaux de la récompense (spécifiquement du réseau ventro-striatal associé aux branches meso-limbiques du système de dopamine) et par des facteurs environnementaux. L'aversion pour les délais serait acquise, pour Sonuga Barke, par conditionnement.

2 L'attention

Tout comme la description des fonctions exécutives, les fonctions attentionnelles ont été souvent décrites dans le cadre de travaux sur les conséquences des traumatismes cranio-cérébral. La plupart des résultats indiquent que l'ampleur des déficits attentionnels est liée à la sévérité du traumatisme. Une étude de Max et al. (2004) citée par Poncelet, Majerus et Van der Linden (2009) indique que les enfants ayant subi un traumatisme cranio-cérébral peuvent présenter une symptomatologie clinique semblable à celle observée dans le TDA/H.

2.1 Le concept d'attention

L'attention est un concept difficile à définir. Tout le monde comprend ce qu'est l'attention comme a pu le dire James (1890) : « It is the taking possession by the mind in clear and vivid form of one out of what seem several simultaneously possible objects or train of thoughts. Focalisation, concentration, of consciousness are of its essence ». Williams James, 1890.

« C'est la faculté de prendre possession par l'esprit, sous forme vive et claire, d'un objet courant de pensée parmi tous ceux qui paraissent se présenter simultanément. Focalisation, concentration de la conscience sont de son essence ».

Cette définition met en évidence le rôle important de l'attention dans toute activité cognitive.

Les fonctions attentionnelles constituent des processus de base sur lesquels repose l'ensemble des fonctions cognitives. L'attention est mise en jeu dans une diversité de processus perceptifs, mnésiques et langagiers. Elle est indispensable pour un comportement adapté durant l'enfance et pour répondre aux exigences quotidiennes à l'école et dans les interactions sociales. Vu le nombre et la complexité des processus cognitifs liés à l'attention, il est difficilement imaginable qu'une seule et unique fonction attentionnelle puisse rendre compte de cette pléthore de performances. Il faut donc voir l'attention comme un concept comprenant plusieurs facettes qui elles-mêmes recouvrent d'autres processus. Les mécanismes de l'attention sont encore décrits de nos jours de différentes façons selon les auteurs. De nombreuses théories existent, chacune insistant sur un ou des aspects de l'attention. Nous allons voir rapidement les différentes théories ou modèles qui ont émergé en une cinquantaine d'années.

2.2 Les modèles généraux de processus attentionnels

- Modèles de filtre

Les modèles de filtre tentent de répondre à la question : comment puis-je focaliser mon attention sur un stimulus et ignorer le reste ?

Broadbent (1958) propose sa théorie du filtre attentionnel en suggérant qu'on ne peut traiter qu'un seul input à la fois. Ce filtre, placé dans les premières étapes du traitement, serait comparable à un entonnoir et permettrait d'éviter une surcharge cognitive du système. Les informations non traitées seraient bloquées dans un stockage à court terme avant de pénétrer dans le canal de traitement. Ce modèle se résume à un simple canal avec une capacité structurale limitée.

En 1969, Treisman et Gelade proposent des modifications de ce filtre en suggérant que le filtre ne bloquerait pas les stimuli indésirables mais qu'il atténuerait plutôt leur traitement. En 1963, Deutsch et Deutsch vont proposer la théorie du filtre tardif dans lequel toutes les informations sont traitées au niveau sémantique, l'attention n'interviendrait qu'après ce traitement en sélectionnant les messages importants. Ce modèle s'oppose aux deux précédents puisqu'il exclut la caractéristique de capacité limitée. Norman (1968) va réintroduire cette

notion de capacité limitée. Dans son modèle de filtre mouvant, l'auteur imagine qu'une valeur d'importance est donnée à chaque message traité en parallèle. C'est ce degré de pertinence qui permet à un message de passer à l'étape suivant de traitement. Toutefois, ce degré de pertinence peut être revu à la hausse ou à la baisse au fur et à mesure du traitement de l'information. Ce modèle va mettre fin au modèle de filtre puisqu'un filtre mouvant n'est plus vraiment un filtre.

- Modèles de ressource attentionnelle

Le modèle de Kahneman (1973) est le premier à intégrer l'idée d'effort. Il relie l'effort à la composante intensive et volontaire de l'attention et suggère que le système ait une capacité fonctionnelle limitée. La focalisation de l'attention améliorerait les performances mnésiques et perceptives. En revanche, le système attentionnel aurait une grande liberté et pourrait partager sa capacité à diverses activités concurrentes. Mais dans ce cas, les ressources cognitives étant partagées, les performances seraient moins bonnes. Ce modèle a été rapidement critiqué car il ne tenait pas compte de l'automatisation des processus attentionnels. En 1980, Norman et Shallice proposent le modèle du système attentionnel de supervision (S.A.S.) que nous avons vu dans la première partie de ce chapitre. L'originalité du modèle est de proposer la distinction entre comportements automatiques (sans contrôle) et comportements nouveaux (avec contrôle) qui requièrent l'intervention du cortex frontal. Le S.A.S. permet de réduire les interruptions dues à une information distractive ainsi que les processus automatiques qui pourraient s'imposer au fonctionnement cognitif ou encore de limiter la mise en œuvre d'une réponse inadaptée (Camus, 1996).

C'est à la même époque que Baddeley (1986) proposera son modèle de la mémoire de travail, dans lequel l'administrateur central (assimilé au S.A.S) a pour charge de distribuer les ressources attentionnelles.

- Les réseaux attentionnels neuro-anatomiques

Mesulam (1981 ; 1990) est l'un des premiers à avoir décrit les différents sites cérébraux impliqués dans les processus attentionnels. Il compose le premier réseau neuroanatomique impliqué dans l'orientation de l'attention visuo-spatiale (Mesulam, 1981). Ce réseau implique le cortex postéro-pariétal dorso-latéral, le cortex préfrontal prémoteur dorso-latéral et le gyrus cingulaire. Selon Mesulam (1990), la représentation pariétale correspond à la construction d'une carte spatiale, le cortex préfrontal prémoteur dorso-latéral élabore la stratégie

d'exploration, de manipulation et d'orientation de cette carte. L'auteur propose donc une organisation en réseau qui vient pondérer la dichotomie entre les partisans de l'approche localisationniste et ceux de l'approche holistique. Toutefois, ce modèle reste lacunaire quant aux processus cognitifs mis en œuvre dans les traitements attentionnels. (Camus, 1997). En somme, Mesulam propose l'hypothèse de processus dynamiques entre les différents aires et donc entre les différents composants de l'attention. Cette hypothèse laisse entendre qu'une lésion à n'importe quel endroit du réseau engendrerait un dysfonctionnement attentionnel global.

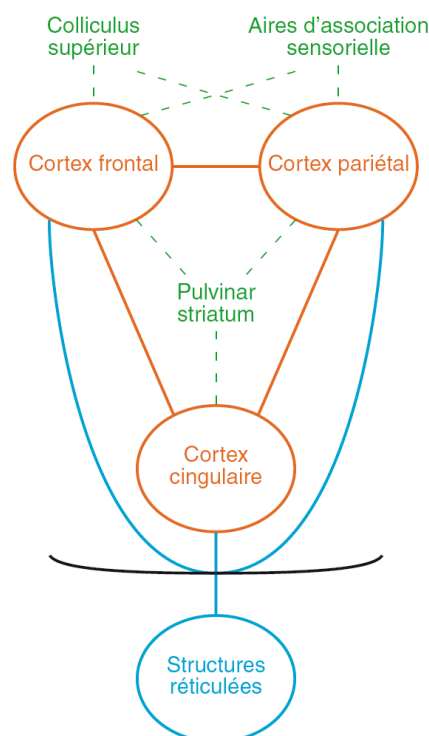


Figure 5 : Modèle de Mesulam (1990) issu de Eustache et al. 2008 : « Les caractéristiques de ce modèle anatomique de l'attention sont groupées dans : un réseau principal de l'attention en rouge avec le cortex frontal (représentations motrices, exploratoires), le cortex pariétal (représentations sensorielles) et le cortex cingulaire (motivation) ; les systèmes annexes en vert et les structures réticulées en bleu (pour la modulation de l'éveil, l'alerte) ».

Le modèle de Posner et Cohen (1984) s'appuie sur les propriétés sélectives d'un faisceau attentionnel. Ce faisceau attentionnel se manifeste tel que : le traitement perceptif des objets situés à l'intérieur du faisceau est facilité, alors que celui des objets situés à l'extérieur du faisceau est inhibé. Selon l'auteur, les mécanismes d'orientation de l'attention résident dans l'alignement de l'attention avec une source externe (orientation vers un endroit) ou avec une représentation interne stockée en mémoire (orientation vers un objet). Le faisceau lumineux

peut plus ou moins faire un zoom sur l'information si elle est digne d'intérêt ou non. Ces mécanismes d'orientation mettent en jeu trois composantes (Posner 1994 cité par Camus 1997) :

- Le désengagement de l'attention de la position actuelle
- Le déplacement proprement dit (cible)
- Le réengagement de l'attention dans la nouvelle position (inhibition)

A partir de cette métaphore, Posner et Raichle (1994, 1997) vont dégager trois fonctions attentionnelles :

- Alerte : maintien de l'effort et inhibition (éveil, vigilance, attention soutenue)
- Orientation : mobilisation sur l'activité pertinente et inhibition
- Contrôle exécutif : inhibition, auto-régulation, arrêt et réengagement (contrôle attentionnel de supervision)

Par ailleurs, cette distinction entre attention endogène (délibérée) et exogène (capturée par un stimulus externe) conduit Posner (1990) à proposer trois réseaux neurocérébraux attentionnels :

- Un réseau antérieur (régions préfrontales) gérant les orientations délibérées de l'attention
- Un réseau postérieur (régions du cortex postéro-pariétal) à l'origine des orientations automatiques de l'attention
- Un réseau éveillant (latéralisé dans l'hémisphère droit) qui participe aux opérations d'éveil cortical généralisé via les régulations de noradrénaline.

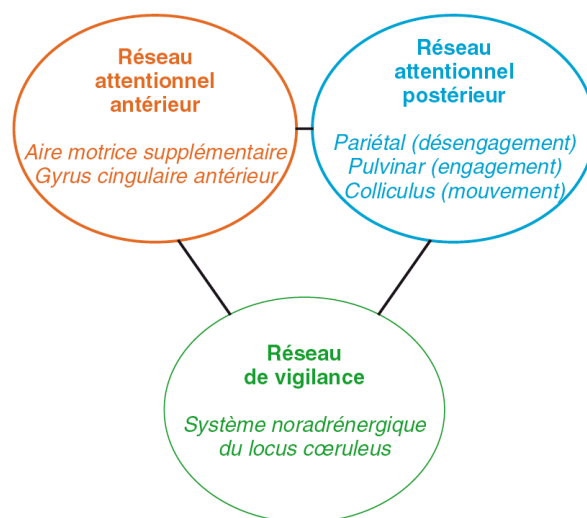


Figure 6 : Modèle de Posner issu de Eustache et al. 2008.

Laberge (1995, cité par Camus, 1996), proposera une organisation des réseaux neurobiologiques quelque peu différente puisqu'il estime que le modèle de Posner est imparfait pour décrire les mécanismes mis en jeu dans la sélection attentionnelle. Laberge estime que l'attention peut se définir uniquement par l'attention endogène, et si un événement extérieur capte l'attention de façon exogène c'est parce que le sujet a décidé de diriger son attention vers cet événement (Siéoff, 2001). Pour Laberge (1995), l'attention s'exprime sous la forme d'un rehaussement des signaux nerveux correspondant à l'objet focalisé. Ce rehaussement peut être large (attention diffuse) ou aiguë (attention focalisée). Selon Laberge (1998), l'attention est le résultat d'un circuit triangulaire entre :

- Les régions préfrontales qui assurent la sélection et le maintien de l'attention
- Les aires corticales postérieures qui permettent l'expression de l'attention
- Le thalamus qui permet le rehaussement et le filtrage

Pour expliquer comment opère ce circuit triangulaire pendant une activité cognitive, Laberge (1998) utilise la métaphore du lecteur CD. Le lecteur aurait des milliers de disques (les disques correspondant aux colonnes dans le cortex cérébral). Chaque disque est le souvenir d'une expérience cognitive (objet, événement, idée, plan d'action...). Les disques, selon leur nature, sont codés dans des colonnes (groupe de neurones) différentes : les objets perceptifs dans les colonnes du cortex postérieur, les plans d'action dans des colonnes du cortex antérieur et postérieur. Les colonnes spéciales du cortex préfrontal permettant la sélection d'un événement cognitif sont apparentées à la main humaine qui permet de sélectionner un disque dans la chaîne –hifi. Après avoir lancé un CD, il faut ajuster le volume pour l'entendre. Laberge fait l'analogie du bouton volume avec le thalamus activé par les aires préfrontales pour amplifier l'activité de la colonne au niveau de l'expression attentionnelle. Le lecteur CD peut être lancé par une source externe comme une connexion internet. Par analogie, les stimuli visuels externes peuvent déclencher une colonne de l'aire visuelle qui elle-même va activer d'autres colonnes

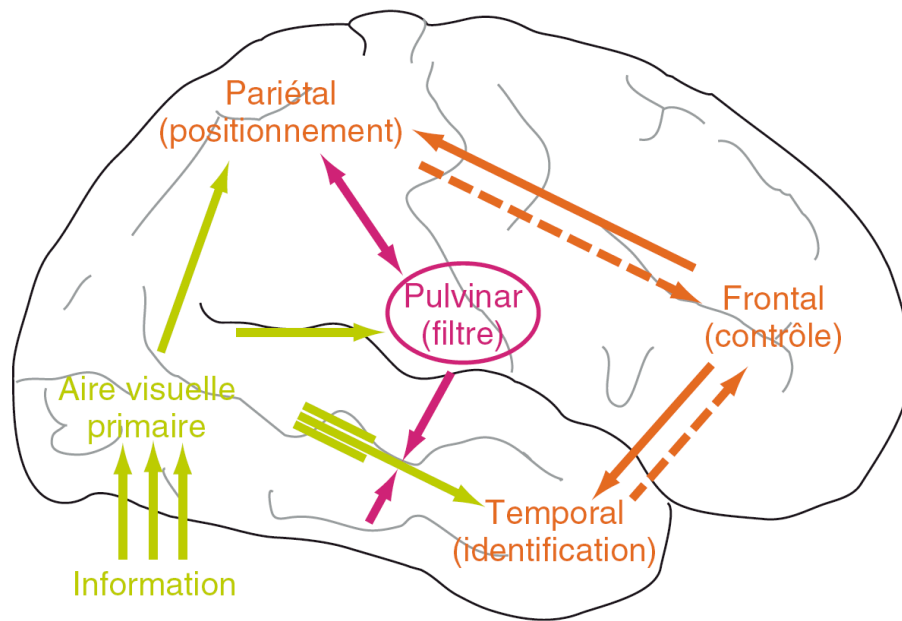


Figure 7 : Modèle de Laberge issu de Eustache et al. 2008 : « Le système attentionnel (contrôle frontal) permet de filtrer (grâce au pulvinar) l'information qui sera identifiée ».

⇒ En d'autres termes, les régions préfrontales

- reçoivent et intègrent les informations de toutes les aires associatives, elles sont à la base du contrôle attentionnel.
- modulent l'activité des régions corticales postérieures qui permettent le rehaussement du traitement d'une information ayant un intérêt pour l'individu. Le contrôle attentionnel est déclenché par les motivations du sujet grâce aux ganglions de la base (neostriatum) et au système limbique.
- Agissent sur les régions corticales postérieures pour permettre à l'attention de s'exprimer
- Traitent l'information entrante des aires primaires de manière automatique (dans ce cas l'information n'atteint pas le niveau de la conscience)
- Permettent à l'attention de s'exprimer sur un certain type d'information (le traitement est alors élaboré et l'information devient consciente)
- Activent les neurones relais du thalamus qui vont rehausser l'activation des colonnes corticales des aires postérieures (Siéoff, 2002).

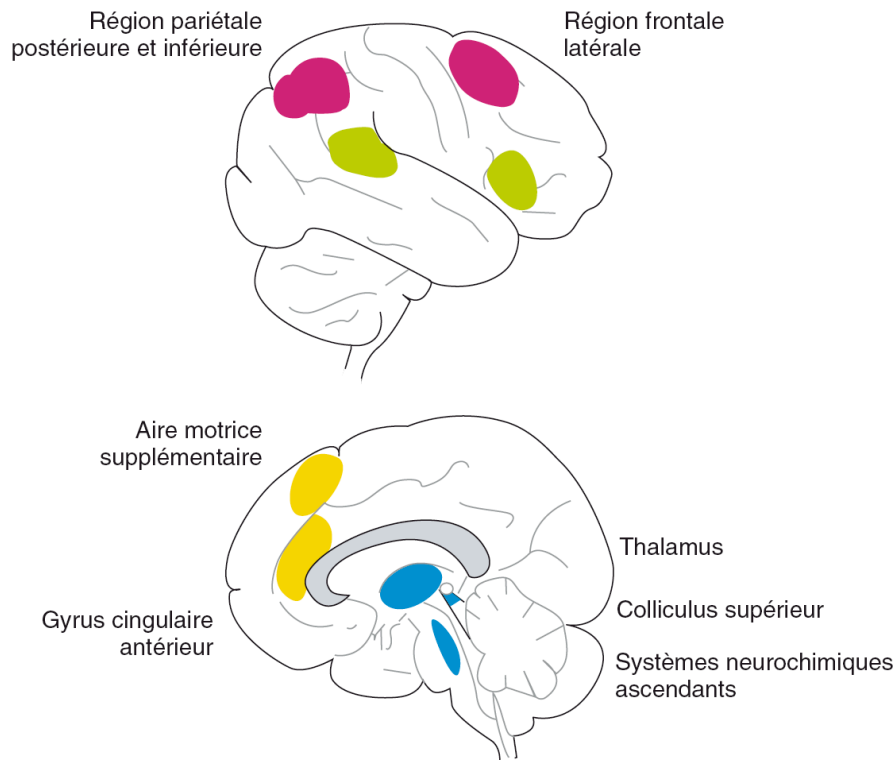


Figure 8 : issue de Eustache et al. 2008 : « régions cérébrales impliquées dans l'attention. Partie haute : régions frontales et pariétales latérales, avec un système dorsal (en rouge) et un système ventral (en vert). Partie basse : régions corticales médiales (en jaune) et régions sous-corticales (en bleu) ».

- Attention préparatoire, brève et maintien de l'attention

En 1999, Laberge (cité par Siéoff, 2001) distinguera plusieurs types d'attention : brève, préparatoire et maintien. Ces différentes composantes pourraient correspondre au même réseau dans le cerveau. L'attention brève est mise en jeu dans les tâches de recherche d'une cible parmi des distracteurs. Le maintien de l'attention permet le maintien de la concentration lors d'une tâche complexe. L'attention préparatoire concède au sujet une préparation (plus ou moins intentionnelle) pour traiter un certain type d'information. C'est à ce moment que le sujet peut développer des stratégies d'attente en lien avec des prédictions. L'attention préparatoire permet d'atteindre un niveau supérieur sur le plan comportemental. En d'autres termes, cela signifie que le comportement d'un individu peut être basé sur des mécanismes « top-down », intentionnel, au lieu de reposer uniquement sur une chaîne de réflexes. L'attention préparatoire active en amont des régions cérébrales dans le but d'améliorer le traitement de certaines informations et ainsi de rendre les actions plus adaptées (Siéoff, 2001).

- Modèle opérationnel en clinique

Van Zomeren et Brouwer (1994), dans la continuité de Kahneman, proposent de faire la distinction entre les aspects de sélectivité et d'intensité de l'attention. Dans le modèle qu'ils proposent, les composantes de l'attention sont réparties selon ces deux axes de l'attention. La sélectivité correspond au nombre restreint d'informations qu'un sujet prend en considération. Ici il faut distinguer l'attention focalisée (capacité à canaliser l'attention sur un stimulus pré-déterminé et à ignorer les stimuli non pertinents) de l'attention divisée (capacité à fractionner les ressources attentionnelles entre plusieurs stimuli pertinents simultanés). Quant à la notion d'intensité, elle renvoie à l'état de vigilance. Elle est partagée en deux dimensions : la dimension phasique correspondant aux changements rapides et soudains de la vigilance (alerte) ; la dimension tonique (attention soutenue) correspondant à des variations plus lentes et plus durables comme lors du cycle du sommeil ou lorsqu'un individu doit maintenir son attention sur de longues périodes, dans l'attente d'un évènement fréquent (Azouvi, Couillet et Agar, 1998). En référence au modèle de Shallice, les auteurs proposent d'intégrer à leur modèle un système de « supervision attentionnelle » qui intégrerait les aspects de stratégie et de flexibilité. Dans notre étude nous utiliserons le modèle de Van Zomeren et Brouwer comme modèle de référence.

Sélectivité	Attention focalisée
	Attention divisée
Intensité	Alerte
	Attention soutenue
Système de supervision attentionnelle	

Figure 9 : les aspects de l'attention selon Van Zomeren et Brouwer (1994)

⇒ En résumé, les régions préfrontales ont un rôle crucial dans l'attention et plus précisément sur :

- Le contrôle de l'attention (Laberge, 1995).
- La commande attentionnelle, la prise de décision et la résolution de conflit (Posner et Raichle, 1994).
- La supervision des opérations attentionnelles (Norman et Shallice, 1980).
- La coordination des programmes moteurs (Mesulam, 1981).

2.3 Développement de l'attention chez l'enfant

Le nouveau-né fait déjà preuve d'une forme d'attention appelée « comportement d'orientation » (mouvement de la tête vers un stimulus sonore), le développement de son cortex cérébral permettra au bébé de s'intéresser à des stimuli de plus en plus complexes. Pendant les 18 premiers mois de la vie, les performances attentionnelles sélectives et soutenues évoluent considérablement (Bélanger, Vanasse, Beliveau et al. 2008). Ces derniers ajoutent qu'il existe des différences individuelles dans les capacités attentionnelles des enfants et que ces différences demeurent dans le temps. L'apparition des comportements attentionnels concorde avec le développement de systèmes de neurotransmetteurs et de régions du tronc cérébral (Bélanger et al. 2008).

Dans leur étude de 2001, Klenberg, Korkmann et al. ont étudié le développement de l'attention et des fonctions exécutives chez des enfants âgés de 3 à 12 ans. Leurs résultats indiquent que l'âge de 10 ans est l'âge auquel les performances en attention focalisée sont matures. En ce qui concerne les tâches d'attention auditive et visuelle, la précision et la vitesse de réaction se développent avant 10 ans, après 10 ans ce sont des améliorations mineures qui sont retrouvées. Ces résultats concordent avec une étude menée par Rebok, Smith, Pascualvaca et al. (1997) qui indiquait que des changements dans les composantes de l'attention se faisaient rapidement entre 8 et 10 ans, et que ces changements étaient plus progressifs entre 10 et 13 ans.

Sobeh et Spijkers (2011) ont étudié le développement des fonctions attentionnelles chez des enfants âgés de 5 à 11 ans avec le logiciel KITAP (Zimmermann, Gondon et Fimm, 2002). Leur étude indique une influence importante de l'âge sur les performances, plus précisément sur le temps de réaction. Les progrès les plus importants ont lieu avant 9 ans, chaque composante attentionnelle ayant un développement propre (l'inhibition et l'alerte seraient les plus précoces).

Les études développementales de la fonction d'alerte indiquent une remarquable diminution du temps de réaction et de sa variabilité entre 6 et 10 ans (Földényi et al. 1999 cité par Sobeh et al. 2012), avec une stabilité des performances entre 13 et 15 ans.

L'étude de Betts, McKay, Maruff et Anderson (2006) indique une amélioration remarquable des performances d'attention soutenue à chaque paramètre (vitesse, précision et variabilité) entre 5 et 12 ans. Cette étude rapporte, tout comme Rebock et al. (1997) une croissance rapide

des performances d'attention soutenue entre 8 et 10 ans. Les résultats de l'étude de Sobeh et al. (2012) rapportent un arrêt de l'amélioration des temps de réaction après 9 ans, pour les épreuves d'alerte, d'attention divisée, de go no-go, de vigilance, d'attention soutenue et d'attention divisée. Les performances à l'épreuve de distractibilité ne diffèrent pas significativement entre 7 et 11 ans. De même, leurs résultats n'indiquent pas d'amélioration significative des performances après 8 ans aux épreuves de go- no-go et d'attention divisée, et après 9 ans (en termes d'omissions) à l'épreuve d'attention soutenue. Les auteurs concluent à un effet de l'âge plus important sur la vitesse que sur la précision. L'influence de l'âge sur la variabilité des performances est clairement marquée dans les tâches d'attention soutenue, d'attention divisée et d'attention sélective. L'étude de Földényi et al. (1999) citée par Sobeh et al (2012), indique que malgré l'amélioration des performances d'attention divisée, cette fonction attentionnelle ne semble pas être stabilisée avant l'âge de 16 ans.

Dans la plupart des fonctions attentionnelles, les changements les plus importants s'opèrent avant 9 ans. (Sobeh et al., 2012). Cette amélioration rapide des performances correspond aux étapes de développement liées à la maturation cérébrale et cognitive (Rebock et al., 1997). En conséquence, la variabilité dans le développement des fonctions attentionnelles est liée à la myélinisation et à la croissance dendritique (Luciana, 2003).

2.4 Profil attentionnel de l'enfant TDA/H

Les enfants présentant un trouble attentionnel sont sensibles aux distracteurs visuels, auditifs ou kinesthésiques. De plus, ils sont moins performants lorsque les processus d'attention soutenue ou d'attention sélective sont mis en jeu (Berquin, 2005). Ce sont des enfants décrits comme rêveurs, «dans la lune », ayant des difficultés à se concentrer sur des tâches ennuyeuses, ou répétitives (Bélanger et al. 2008). Ces enfants, absorbés par leurs pensées ou distraits par les stimuli extérieurs, sont incapables de maintenir leur attention dans le temps ce qui indispose la famille et les enseignants (Revol et Brun, 2010)

Les études ayant examiné les difficultés attentionnelles chez les enfants TDA/H rapportent toutes que ces enfants sont moins attentifs pendant le temps de classe et pendant le travail en autonomie comparés à leurs pairs. Rapport, Scanlan et Denney (1999) ajoutent que les difficultés attentionnelles du jeune enfant, prédisent les mauvais résultats scolaires de l'adolescence. De plus, les enfants TDA/H ont plus de difficultés à initier et à maintenir leur attention dans le cadre scolaire (Abikoff et al. 2002 ; Barkley et al. 1990 ; cités par Rapport Kofler, Alderson et al. 2009). Rapport et al. (2009) ont observé un groupe d'enfants TDA/H et

un groupe contrôle pendant le temps scolaire. Le groupe TDA/H a été scindé en 2 sous-groupes : TDA/H avec attention haute (TDA/H-H) et TDA/H avec attention basse (TDA/H-B). Leurs résultats indiquent que sur une tâche de 20 min, le groupe contrôle est attentif 80 % du temps en moyenne alors que les groupes TDA/H-H et TDA/H-B sont respectivement attentifs 67,5 % et 39,5 % du temps en moyenne.

En 2001, Swanson et al. cités par Lechevalier, Eustache et Viader (2008) ont tenté d'expliquer les déficits cognitifs rencontrés chez le TDA/H avec le modèle de l'attention de Posner et Raichle. Le lien est fait entre symptômes cliniques du TDA/H selon le DSM IV, processus cognitifs et les réseaux neuronaux de l'attention. Selon eux,

- les difficultés d'attention soutenue seraient dues à des difficultés de l'état d'alerte neuronal
- Les difficultés d'attention sélective seraient liées à des troubles de la fonction d'orientation
- Les difficultés d'attention partagée seraient liées à des difficultés du contrôle exécutif

3 Apprentissages et lecture

3.1 Développement des fonctions cognitives

Pour évoquer le développement des fonctions cognitives, il semble intéressant de faire le parallèle entre les travaux de Piaget en 1967 sur l'ontogenèse de l'intelligence et les travaux d'Alexander Luria (1973) sur le même sujet. Ce parallèle a déjà été proposé par Morgan en 1988 (cité par Lussier et Flessas, 2009) pour permettre de comprendre l'évolution des processus de pensée et leurs pathologies développementales. L'intérêt de ce parallèle est de comparer le modèle développé par un psychologue développementaliste et celui développé par un neuropsychologue.

- Conception piagétienne (1967)

Pour Piaget, le cerveau de l'enfant est un processeur actif qui permet la réorganisation des expériences vécues. L'impact de ces expériences est modulé en fonction de la maturation cérébrale et s'insère dans une structure d'ensemble (Lussier et Flessas, 2009). Selon Piaget, tout enfant normal évoluerait selon 4 stades, le passage d'un stade à un autre entraînant une réorganisation des processus de pensée :

- La période sensori-motrice
- La période de pensée pré-opératoire
- La période des opérations concrètes
- La période des opérations formelles

- Conception de Luria (1970)

Pour l'auteur, cinq stades successifs reflètent les progrès de la maturation cérébrale. Cette maturation est le résultat de la myélinisation et de l'augmentation de la neurodensité.

Le premier stade est celui du développement des capacités d'éveil et de focalisation attentionnelle. Ces fonctions correspondent à la formation réticulée (région sous-corticale) qui joue un rôle évident dans l'acquisition de tout apprentissage ultérieur.

Le second stade correspond à la coordination entre les aires motrices et sensorielles primaires, puis secondaires du cerveau. L'organisation de ces réseaux neuronaux expliquerait l'expansion de l'intelligence sensori-motrice. C'est ainsi que le tout-petit peut donner sens à ses perceptions et organiser ses gestes selon ces perceptions.

Le troisième stade de Luria dépend du développement des aires motrices et sensorielles secondaires. Ces aires sont de plus en plus capables de traiter les informations qu'elles reçoivent, et leur maturation permet de traiter plus finement les perceptions mais aussi de mettre en mémoire les informations émanant de l'environnement. L'enfant commence à traduire ses expériences à travers le langage, et c'est le langage qui lui permettrait d'accéder à la pensée symbolique, propre au stade opératoire de Piaget. De plus, la maturation de l'aire secondaire motrice en étroite harmonie avec celle des aires sensorielles, rend possible l'organisation de séquences motrices complexes ce qui transparaîtra au niveau des productions phonologiques.

Le quatrième stade correspond à la maturation des aires tertiaires (lobes pariétaux, temporaux, occipitaux). L'augmentation des circuits neuronaux entre ces trois lobes permet de comprendre les relations entre modalité visuelle, auditive et somesthésique. Cette intégration inter-modale correspondrait donc au stade des opérations concrètes de Piaget.

Le cinquième stade est celui de la maturation progressive des aires préfrontales qui permettent, comme nous l'avons déjà vu l'auto-régulation des comportements, mais aussi les

processus de pensée hypothético-déductive permettant l'accès au stade opératoire formel de Piaget.

Luria proposera également de distinguer trois « unités fonctionnelles » dans le cerveau humain, dont la croissance se fait au cours des 5 stades de développement cités ci-dessus. La première unité (tronc cérébral et système limbique) gère l'état de vigilance de l'apprenant ainsi que sa capacité d'attention soutenue. La deuxième unité (lobes temporaux, occipitaux, pariétaux) est responsable de la réception, de l'intégration et de la mise en mémoire des informations. L'auteur distinguera ici des différences individuelles :

- Un style cognitif séquentiel qui reflète un traitement des informations reçues élément par élément
- Un style cognitif simultané qui correspond au traitement des informations reçues dans leur globalité aux dépens de leurs caractéristiques individuelles

La troisième unité (partie antérieure des lobes frontaux) autorise la programmation, la planification et la vérification des conduites en fonction des intentions. Pour Luria, une activité mentale organisée n'est possible que grâce à la participation coordonnée de ces trois unités fonctionnelles (Lussier et Flessas, 2009).

3.2 Modèle des styles cognitifs et apprentissages

- Modèle de Flessas et Lussier

Partant de ces considérations, Flessas et Lussier proposent en 1995 un modèle intégrant les styles cognitifs ainsi que les modalités dans lesquelles ils peuvent s'exprimer (auditive ou visuelle). Ce modèle a d'une part l'intérêt de proposer une analyse des processus mis en jeu selon la matière étudiée. D'autre part, il a l'avantage d'avoir été pensé pour être appliqué en pédagogie. Les auteurs ont donc développé un modèle en quatre quadrants :

- Le processus séquentiel verbal : les éléments verbaux sont perçus et conservés en mémoire de travail, en respectant les termes et l'ordre de présentation. Cette habileté permet de créer des liens logiques entre les phrases successives d'un discours par exemple. C'est donc un traitement qui s'opère à travers le langage parlé ou intériorisé et qui permet l'acquisition de connaissances nouvelles et encyclopédiques.

- Le processus séquentiel non verbal : l'analyse des informations visuelles, auditives ou gestuelles est interne. C'est ce processus qui permet de découper un tout en ses différentes composantes
- Le processus simultané non verbal : la perception des stimuli y est synthétique tout en tenant compte de leur position spatiale. Ce processus permet la mémorisation de la localisation spatiale. Sa forte prédominance visuo-spatiale permet la conception de modèles bi ou tri-dimensionnels mais qui laisse place également à des constructions hypothétiques totalement intuitives. C'est donc un processus indispensable à la création et à l'invention.
- Le processus simultané verbal : c'est lui qui permet de comprendre les métaphores et les analogies, ou encore d'établir des liens avec les connaissances antérieures et donc d'établir une synthèse entre différentes idées exposées. Ce processus permet de créer une imagerie mentale personnelle à partir des éléments verbaux d'un récit.

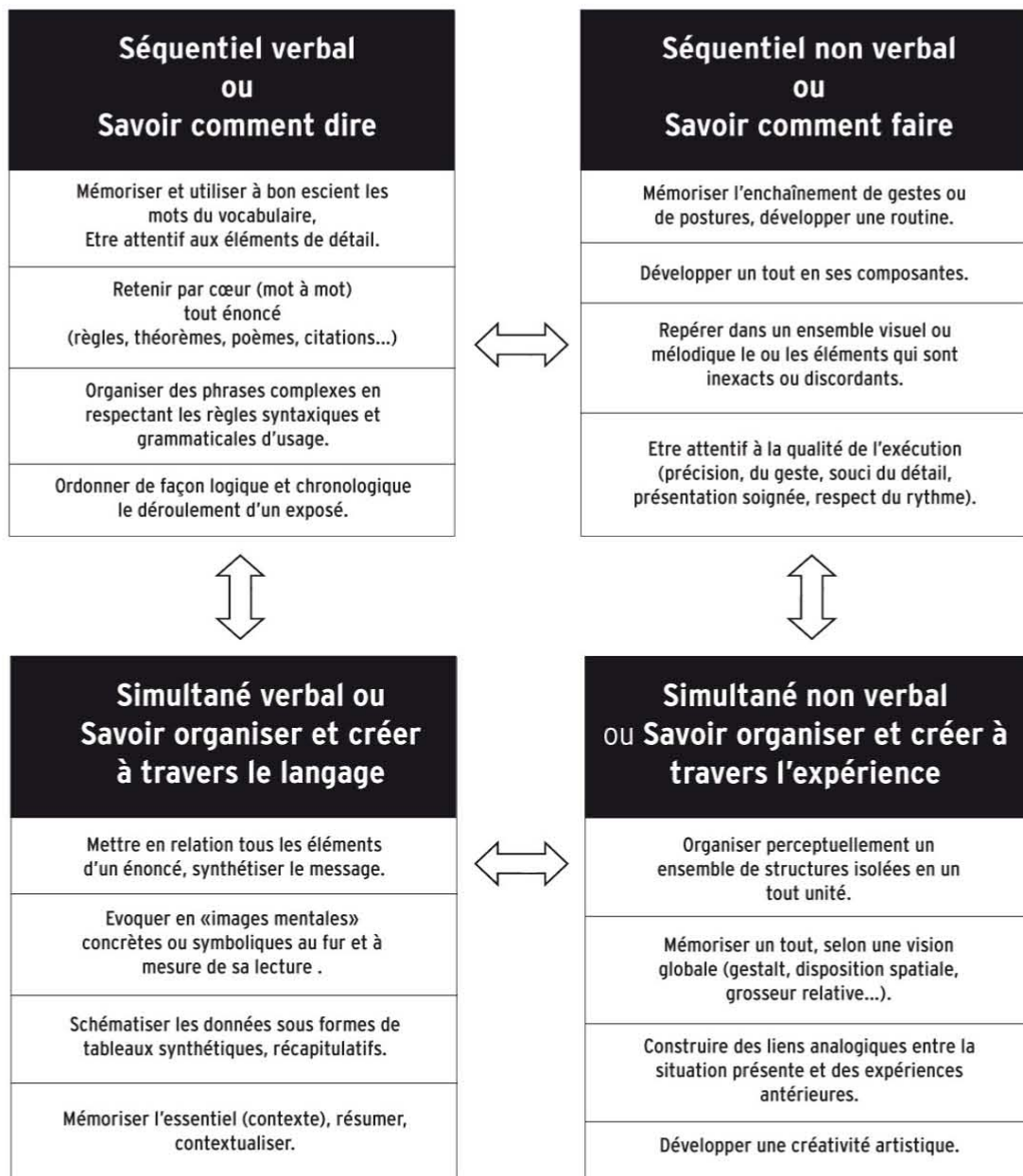


Figure 9 : Modèle Flessas-Lussier (1995) en quatre quadrants tiré de Lussier et Flessas (2009)

3.1 Lecture

- Modèles

L'apprentissage de la lecture est l'un des apprentissages les plus importants pour le jeune apprenant, car de cet apprentissage dépendent tous les autres. Les difficultés d'apprentissage de la lecture peuvent plus ou moins rapidement mettre l'enfant en situation d'échec scolaire. C'est pourquoi les professionnels de santé, les enseignants mais aussi les pouvoirs publics portent une attention croissante à ce trouble (Demont et Gombert, 2004). La recherche a montré depuis plusieurs années que les difficultés de lecture manifestées par les enfants « mauvais lecteurs » ou « dyslexiques » proviennent essentiellement de difficultés à reconnaître les mots et non pas de difficultés de compréhension (Sprenger-Charolles et Collé, 2003).

La lecture est une activité complexe qui met en jeu plusieurs processus cognitifs généraux de façon coordonnée (mémoire, attention, connaissances générales...) ainsi que des habiletés spécifiques au traitement de l'écrit (Christopher, Miyake, Keenan et al, 2012). Généralement, les modèles théoriques considèrent que l'acte de lecture fait appel à deux composantes essentielles dans le traitement de l'écrit :

- Un processus de bas niveau correspondant à la reconnaissance des mots écrits
- Un processus de haut niveau correspondant à la compréhension

Nous nous intéressons plus particulièrement dans cette étude au processus de reconnaissance des mots écrits.

La reconnaissance doit être non seulement correcte mais chez le lecteur expert elle doit être un processus automatique. En effet, au-delà de la maîtrise de la conversion graphème-phonème et des traitements orthographiques nécessaires à la reconnaissance des mots, c'est dans le degré d'automatisme de ces processus que réside l'efficacité de la lecture. L'automatisme permet de rendre ces processus moins coûteux en attention. (Demont et Gombert, 2004).

Les modèles développementaux de la lecture développés dans les années 1980 (Frith, 1985 ; Harris et Coltheart, 1986) décrivent comment les différentes étapes de l'apprentissage de la lecture mènent à la mise en place de la voie d'assemblage (ou phonologique) puis de la voie d'adressage (ou orthographique). Ces modèles ont la particularité d'être d'une part, fondés sur le modèle de lecture de l'adulte, dit à double voie : une voie phonologique permettant la

correspondance grapho-phonémique ; une voie lexicale permettant la reconnaissance d'un mot connu en activant sa représentation orthographique au sein d'un lexique mental (Valdois, 2010). D'autre part, ils décrivent une suite d'étapes strictement identiques pour tous les apprentis lecteurs. Les différents modèles développementaux reconnaissent l'existence de trois stades principaux nécessaires à la reconnaissance des mots :

- stade logographique : mémorisation du patron visuel du mot grâce à des indices saillants (ex : « Noël »).
- stade phonologique (ou alphabétique): correspondance entre l'unité visuelle (graphème) et l'unité phonémique (phonème). Ce processus qui s'apparente à la voie indirecte ou à la voie d'assemblage, décrites dans le modèle à double voie d'accès au lexique (Coltheart, 1978), exige des ressources attentionnelles chez le lecteur débutant.
- stade orthographique : reconnaissance du mot par traitement des configurations orthographiques visuelles sans recours à la conversion graphème-phonème. Le lecteur retrouve les mots stockés en mémoire à long terme sur la base de leurs segments orthographiques. Ce processus est donc moins coûteux en attention.

Certains chercheurs ne considèrent pas le stade logographique comme une étape à part entière dans le processus d'apprentissage et préfère parler de « lecteurs logographiques ».

Dans la lecture experte, les processus phonologiques et orthographiques agissent conjointement, ce qui permet une reconnaissance rapide et simple des mots rencontrés (Demont et Gombert, 2004). Les modèles développementaux étant lacunaires quant à la coexistence de différents processus de lecture ou d'orthographe en début d'apprentissage, les modèles interactifs ont émergé. Les modèles interactifs (ex : Seymour, 1997) ont l'avantage de rendre compte de l'hétérogénéité individuelle ainsi que de la dynamique d'apprentissage (Boujon et al, 2004). Le modèle de Seymour précise que les phases logographiques et alphabétiques seraient non pas des phases mais des processus indépendants, coexistant dès le début de l'apprentissage de la lecture et participant à l'élaboration du lexique orthographique.

Suite aux modèles cognitivistes, les modèles connexionnistes sont apparus. Dans ces modèles, le concept du traitement de l'information est analogue au fonctionnement d'un système nerveux dans lequel les unités phonologiques, orthographiques et sémantiques sont interconnectées et influencées par l'environnement orthographique. L'activité de lecture n'est plus perçue comme l'application de règles mais plutôt comme l'activation automatique de différentes unités spécialisées dans le traitement phonologique, orthographique et sémantique.

C'est alors l'exposition répétée à l'écrit qui rend possible l'acquisition implicite de connaissance grâce au travail conjoint des différents systèmes : phonologique, orthographique et sémantique (Stanké, 2009).

Parmi ces modèles, le modèle ACV (Ans, Carbonnel et Valdois, 1998) met en évidence le rôle primordial du traitement visuo-attentionnel dans la mise en place d'une mémoire lexicale efficace. Ce modèle est composé d'une voie unique et d'une double procédure de lecture, globale et analytique, se distinguant par la taille de l'empan de la fenêtre visuo-attentionnelle. L'empan renvoie à la quantité de lettres distinctes pouvant être traitées simultanément lors d'une fixation. Dans le modèle ACV, le traitement du mot serait d'abord global et le traitement analytique n'interviendrait que lors de l'échec du premier traitement. Les deux procédures se distinguent par la taille de la fenêtre visuo-attentionnelle par laquelle est extraite l'information orthographique. Lorsqu'un mot est présenté, la fenêtre visuo-attentionnelle englobe la totalité de la séquence orthographique afin de traiter l'ensemble des lettres de la séquence. Si la séquence des lettres est identique à une séquence déjà mémorisée dans le système, la séquence est reconnue comme objet familier, ce qui active le système phonologique qui active à son tour la réponse phonologique. Si la séquence perçue par la fenêtre visuo-attentionnelle n'active aucun schéma orthographique du système, le traitement global est un échec et le système bascule sur un traitement analytique. La fenêtre attentionnelle est alors réduite à la plus large séquence du début du mot que le système puisse reconnaître. Dès qu'il y a correspondance du schéma orthographique de la séquence, une réponse phonologique est activée et maintenue en mémoire de travail. Puis la fenêtre attentionnelle se déplace vers une seconde portion du mot reconnaissable, ainsi de suite jusqu'au traitement complet du mot. Dans ce modèle, l'acquisition des connaissances orthographiques se fait par le renforcement des poids de connexions entre les unités orthographiques et phonologiques.

Le modèle ACV fait l'hypothèse que des dysfonctionnements distincts et indépendants pourraient être à la source des différentes formes de dysfonctionnement du traitement phonologique ou du traitement visuo-attentionnel, à l'origine des diverses formes de dyslexies développementales.

Les premiers travaux de neurosciences montrent que la région périsylvienne gauche (sous-tendant les représentations phonologiques) serait activée différemment chez les dyslexiques comparés aux normo-lecteurs (Galaburda, Sherman, Rosen et al., 1985). D'autres travaux psychophysiques et neuro-anatomiques indiquent des anomalies dans les voies

magnocellulaires du noyau genouillé latéral. Ces anomalies entraînent des faiblesses dans les processus visuels et, via le cortex pariétal postérieur, à une anomalie du contrôle visuel. Ces résultats renforcent l'hypothèse visuelle (Lussier et Flessas, 2009).

Les modèles à double-voie, malgré leur remise en question, sont ceux qui servent encore de référence aujourd'hui pour l'évaluation des pathologies acquises de la lecture. Ces modèles reflètent plus ou moins convenablement le système cognitif de l'adulte, mais leur utilisation pour rendre compte de trouble de l'apprentissage de la lecture n'est pas vraiment appropriée (Valdois, 2001). En effet, un cerveau immature n'est pas comparable à un cerveau adulte, de même qu'un trouble acquis n'est pas comparable à un trouble affectant des compétences en cours de développement (Plaza et Raynaud, 2007). L'idéal serait d'avoir un modèle développemental représentant la construction du système, mais à ce jour il n'existe pas de modèle développemental explicite de l'apprentissage de la lecture (Valdois, 2001)

- Données neuroanatomiques de la lecture

L'imagerie fonctionnelle par résonance magnétique permet de visualiser l'activité du cerveau au cours de tâches cognitives. Il a ainsi été démontré que l'activité de lecture, impliquant de nombreux processus (reconnaissance visuelle des mots, accès au lexique mental, récupération du sens de chaque mot, intégration de ces mots dans le contexte de la phrase, prononciation), nécessite la mobilisation de plus d'une dizaine d'aires cérébrales réparties dans les régions occipitales, temporales, pariétales et frontales (Dehaene, 2003). Parmi ces zones spécifiques l'aire de la forme visuelle des mots, située dans la région occipitale gauche, est particulière puisqu'elle est dotée d'une incroyable reproductibilité chez tous les individus, quelle que soit leur langue ou leur culture. L'apprentissage de la lecture résiderait dans le recyclage de cette zone, en faisant augmenter les réponses aux mots et diminuer les réponses à ce qui n'est pas de l'écrit lors de cet apprentissage (Dehaene, 2007).

En s'appuyant sur le modèle théorique à deux voies de la lecture, Jobard, Crivello et Tzourio-Mazoyer (2003) ont réalisé une méta-analyse de données de neuro-imagerie examinant le processus de lecture. Leurs résultats précisent des liens anatomo-fonctionnels spécifiques pour chacune des voies. L'utilisation de la voie phonologique recruterait une voie dite « dorsale » (passant par le lobe pariétal). Quant à la voie lexicale, elle recruterait une voie dite « ventrale » (passant par le lobe temporal). Simos, Breier, Fletcher et al. (2002) précisent le décours temporel de l'activation des zones impliquées dans la lecture. Cette activation se diffuserait selon un axe antéro-postérieur suivant ce chemin : aires occipitales → aires

temporales basales → aires temporales postérieures → aires pariétales inférieures → aires frontales inférieures. Fiebach, Friederici, Muller et al. (2003) ont mis en évidence l'effet de l'âge d'acquisition des mots sur les activations cérébrales, ce qui explique certaines divergences dans les résultats des études.

La neuro-imagerie révèle que, comme la lecture, la dénomination rapide active un réseau complexe : frontal, temporal, occipital, cérébelleux (Plaza et Raynaud, 2007). McCrory, Mechelli, Frith et Price (2005) ont comparé les résultats d'adultes dyslexiques et de lecteurs experts, au cours d'une tâche de dénomination rapide et de lecture, en utilisant la technique de Tomographie par Emission de Positons (TEP). Leurs résultats indiquent que les adultes dyslexiques, dans les deux situations, ont une baisse de l'activation dans la même aire cérébrale : le cortex occipitotemporal gauche.

Résumé: Plusieurs routes de lecture

- La région occipito-temporale gauche semble servir de « voie d'entrée » visuelle de la lecture
- Trois autres grands réseaux semblent ensuite être impliqués:

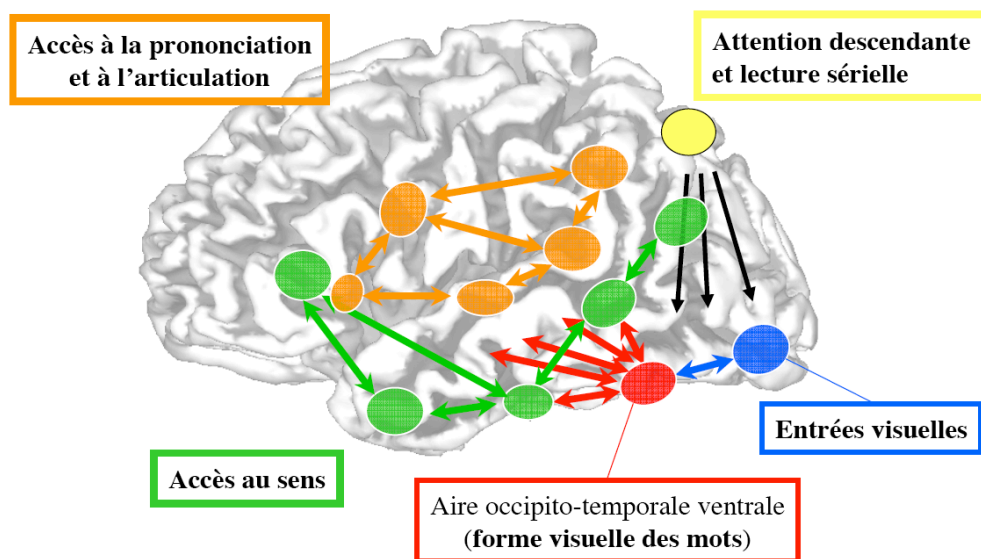


Figure 11 : « Plusieurs routes de lecture » issue de Dehaene, 2007.

- Pathologies développementales de la lecture

Les troubles spécifiques de l'acquisition de la lecture (ou dyslexies développementales) sont caractérisés par un développement atypique des processus de lecture (Valdois, 2010). La dyslexie développementale est devenue un sujet phare des publications internationales : entre 400 et 500 publications par an portent sur « dyslexie » dans la base de données Web of Science (Content, 2012). Plusieurs théories explicatives ont été proposées pour expliquer ce trouble. Deux théories prédominent aujourd'hui : la théorie phonologique et la théorie visuelle. La classification fait donc coexister la dyslexie phonologique (atteinte de la conscience phonologique, de la MdT auditivo-verbale et de l'accès en mémoire au code phonologique) et la dyslexie visuo-attentionnelle (difficultés oculomotrices et d'attention visuelle) (Plaza et Raynaud, 2007). A mi-chemin entre ces deux théories, l'hypothèse d'un double déficit a émergé. Les travaux de Denckla et Rudel (1976^a, 1976^b) ont permis de faire valoir la lenteur à la dénomination rapide comme un marqueur de déviance. Partant de cette hypothèse, trois types de dyslexies ont été différenciés : trouble exclusif des processus phonologiques, trouble exclusif de la dénomination rapide, double déficit.

3.2 Profil de lecture et des apprentissages du TDA/H

Pour apprendre ou étudier, l'intégrité des compétences instrumentales (mémoire, attention, aptitudes spatiales et temporelles...) est indispensable. Ces outils supportent les apprentissages scolaires. Un dysfonctionnement d'une ou plusieurs de ces compétences peut perturber l'apprenant intellectuellement et affectivement (Bronselaer, 2010).

- Influence des symptômes du TDA/H sur les apprentissages

Environ 20 % des élèves présentant un TDA/H affichent des retards de développement du langage et de la motricité fine (écriture) nécessitant une rééducation spécialisée. Chez ces enfants, la mise en place des outils indispensables aux apprentissages scolaires est perturbée, ce qui va entraîner un retentissement sur les acquis scolaires et donc un retard de plus en plus important au fil de la scolarité (Bronselaer, 2010). La capacité d'attention soutenue a un rôle primordial dans les apprentissages scolaires puisqu'elle est déterminante pour que l'enfant maintienne son attention durant de longues périodes, dans le but de comprendre et d'intégrer le plus grand nombre d'informations (Catroppa et Anderson, 1999).

Il est important de distinguer ce qui relève du trouble et ce qui relève du retentissement du TDA/H. Les difficultés d'apprentissages découlant du déficit attentionnel se résorberont avec des interventions adaptées (comme la médication), alors que les troubles d'apprentissage (de

nature spécifique) persisteront malgré une intervention sur le TDA/H (Bélanger et al. 2008). Apprentissage et mémoire sont dépendants l'un de l'autre. Le processus de mémorisation comporte plusieurs étapes : encodage, consolidation, stockage et rappel. L'enfant TDA/H aura des difficultés dès l'étape d'encodage du fait des difficultés attentionnelles ne lui permettant pas d'analyser et de manipuler les composants à mémoriser. De plus, les stratégies d'organisation et de catégorisation déficitaires rendent le rappel plus difficile (Touzin, 1999).

Différentes hypothèses ont été évoquées pour expliquer le lien entre TDA/H et troubles des apprentissages (Touzin, 1999) :

- Les difficultés d'attention soutenue ou d'attention sélective entravent les apprentissages
- L'échec scolaire conduit au déficit attentionnel car l'enfant perd de sa motivation et l'exprime dans une plus grande fréquence de comportements inattentifs et distractibles, jusqu'à des troubles anxieux.
- Le trouble des apprentissages et le TDA/H sont liés l'un à l'autre car ils sont sous-tendus par des facteurs communs (environnementaux, organiques ou cognitifs)

Le symptôme d'hyperactivité entraîne une instabilité motrice qui est mal acceptée en situation de classe. L'école est un lieu contraignant pour l'enfant hyperactif qui ne peut s'empêcher de bouger, de se lever, de faire tomber ses affaires. En conséquence, l'enfant hyperactif se fait constamment reprendre et réprimander par l'enseignant.

Le symptôme d'impulsivité entraîne des difficultés à respecter les tours de paroles et l'organisation du travail. L'enfant impulsif ne peut pas prendre le temps de penser avant d'agir et passe constamment d'une activité à l'autre. Il ne peut pas non plus penser séquentiellement ce qui empêche un raisonnement en plusieurs étapes. L'impulsivité empêche également ces enfants de demander de l'aide car ils sont incapables d'attendre, de différer.

Le symptôme d'inattention est probablement celui qui entrave le plus les apprentissages scolaires (Hynd et al. 1991, cité par Touzin, 2004). L'inattention ne permet pas à l'enfant de terminer ses tâches et le rend distractible. De fait, les difficultés d'attention et plus spécifiquement d'attention auditive, entraîneront des lacunes dans la mémorisation des informations.

Par conséquent, il semble évident d'attribuer aux difficultés de comportement (moteur et attentionnel) l'échec scolaire de ces enfants. Cependant, ces troubles du comportement

peuvent parfois occulter des troubles spécifiques des apprentissages, tel qu'un trouble spécifique du langage écrit (Touzin, 2004).

- Lecture et TDA/H

Une étude française menée auprès de 560 enfants de moins de 16 ans consultant dans un service de pédopsychiatrie (Touzin, 1999) indique que 27,50 % des enfants TDA/H présentent un trouble spécifique de l'acquisition de la lecture. La lecture se retrouve dans la plupart des situations d'apprentissage à l'école : répondre à un contrôle écrit, apprendre une leçon, lire un énoncé d'exercice... Lorsque le processus de lecture est perturbé, un effort cognitif supplémentaire pour déchiffrer est nécessaire au détriment de la compréhension ou de la rétention. Plus le temps d'effort intellectuel est allongé, plus pénible est l'effort (Bronselaer, 2010). Une étude de Farone, Biederman et al. (1993) menée auprès d'enfants présentant un TDA/H indique qu'un soutien scolaire a été nécessaire chez 63 % des enfants ; 34 % ont redoublé ; 20 % ont été placés dans des classes spécialisées ; 17 % ont eu des troubles de la lecture. Les difficultés en lecture, en dehors d'un trouble spécifique du langage écrit, peuvent être liées au déficit de mémoire de travail que présentent certains enfants TDA/H (Lecendreux, Konafal et al., 2003). Les difficultés d'attention visuelle entraînent de mauvaises prises d'indices visuels ce qui entraîne des troubles de la lecture : inversions spatiales ou séquentielles de lettres, élisions de mots ou de partie de mots, sauts de mots ou de lignes, substitution de mots par des formes graphiques proches (Touzin, 1999).

Les difficultés de lecture sont l'un des troubles les plus souvent associés au TDA/H : 25 % à 40 % des individus TDA/H présenteraient des difficultés en lecture (Dykerman et Ackerman, 1991) tandis que 15 % à 40 % d'individus présentant des difficultés de lecture réuniraient les critères diagnostics des TDA/H (Willcutt et Pennington, 2000). Pennington, Groisser et Welsh (1993) ont montré que les enfants dyslexiques présentant un TDA/H associé ont les mêmes caractéristiques cognitives que des sujets dyslexiques ayant une atteinte phonologique. Les deux groupes se distinguent par une atteinte des fonctions exécutives chez les sujets TDA/H.

Les études ayant comparé des groupes TDA/H, TDA/H avec dyslexie, dyslexique, et contrôle suggèrent l'absence de déficit sous-jacent commun en dehors d'une vitesse de traitement réduite (Shanahan, Pennington, Yerys et al., 2006 ; Ghelani, Sidhu, Jain et al., 2004)

4 Fonctions exécutives, attention, lecture : quelles implications ?

L'attention, les fonctions exécutives et la mémoire sont des fonctions qui sont d'une part, étroitement liées du fait de leur nature, mais qui d'autre part sont fortement impliquées dans les processus d'apprentissage. Comme nous venons de le voir, l'attention et les fonctions exécutives se développent progressivement depuis le plus jeune âge jusqu'à l'adolescence. Chez la plupart des enfants, le développement de ces fonctions s'effectue normalement, alors que chez d'autres ce développement est partiel. Ces derniers feront des efforts plus ou moins efficaces pour acquérir de nouvelles connaissances, en dépit de l'intégrité des autres processus cognitifs (Lussier et Flessas, 2009).

La prévalence des difficultés d'apprentissage liées à une problématique neurologique ou neurodéveloppementale est estimée à environ 10 à 15 % des enfants d'âge scolaire (Obrzut et Boliek, 1991, cité par Lussier et Flessas, 2009). Une rééducation spécifique et/ou une approche pharmacologique s'avère souvent nécessaire pour permettre à l'enfant d'optimiser son potentiel, surtout dans les apprentissages scolaires requérant des processus mnésiques et attentionnels efficaces.

- Fonctions exécutives et apprentissages

L'étude menée par Hacques en 2009, a mis en avant l'existence d'un lien étroit entre capacités exécutives et capacités d'apprentissage. Les résultats de cette étude indiquent que la réussite de l'épreuve de la copie de la figure de Rey (fortement corrélée à l'index « troubles des apprentissages » du questionnaire Conners), est dépendante de l'intégrité des capacités d'inhibition, de flexibilité, de planification et de résolution de problèmes.

- Attention et apprentissages

En situation de classe, l'enfant qui copie une phrase au tableau tout en écoutant la maîtresse utilise ses ressources en attention divisée. La copie, devenu processus automatique se fera sans effort intentionnel ce qui permettra à l'élève d'écouter les propos de l'enseignant. Le contrôle attentionnel est une des fonctions d'auto-régulation que l'élève « doit mettre en place pour ajuster son rythme d'exécution (vitesse) à sa capacité de respecter toutes les consignes de la tâche (précision) » (Lussier et Flessas, 2009). L'attention est ce qui permet à l'enfant de traiter une tâche rapidement et sans erreurs (Leconte-Lambert, 1994). Si l'enfant privilégie la vitesse, ou la précision, il peut perdre son objectif en cours de route et échouer son activité.

Camus (2003) décrit l'attention préparatoire comme un processus qui concède à l'information traitée une durée cognitive. Cette dernière stabilise la représentation de l'information longtemps après la stimulation. La représentation s'enrichit ensuite, grâce au traitement attentionnel, d'une cohérence spatiotemporelle concédant une persistance cognitive. Lorsque les représentations des informations ont ces qualités, l'intervention d'opérations stratégiques devient possible, et c'est alors qu'apparaît le contrôle exécutif : « élaboration de nouvelles connaissances, apprentissage, flexibilité, planification, résistance à la distraction et, surtout, enrichissement émotionnel ».

- Automatisation et apprentissages

La capacité d'automatisation est primordiale pour l'acquisition de compétences scolaires. Les enfants présentant un trouble de l'attention peuvent automatiser mais plus lentement que les autres. L'automatisation a pour intérêt de pouvoir répondre rapidement et de manière efficace à des situations répétitives, même avec un faible niveau de vigilance (Boujon et Quaireau, 1997). Plus spécifiquement, la lecture est une activité qui requiert que ses sous-composantes soient automatisées (Laberge et Samuel, 1974).

Partant de cette idée, Nicolson et Fawcett (1990) cités par Castel, Pech-Georgel et al. (2008), diront que les difficultés d'identification des mots chez les dyslexiques sont dues à un déficit général d'automatisation. Lecture et dénomination rapide requièrent les mêmes capacités cognitives : perception visuelle, attention, MdT, anticipation, inhibition, flexibilité, accès au code phonologique du mot, articulation (Plaza et Raynaud, 2007). L'étude de Castel et al. (2008) montre que le niveau d'automatisation, dans une tâche de dénomination rapide, joue un rôle important lorsque le sujet doit inhiber des informations non pertinentes. Les auteurs concluent que le déficit d'automatisation serait prédominant dans les processus de sélection et d'inhibition.

- Mémoire de travail et lecture

La mémoire de travail (MdT) est souvent considérée comme un système jouant un rôle central dans l'acquisition et l'exécution des capacités cognitives de base. Elle est liée au développement d'activités cognitives telles que la compréhension du langage, la lecture, la production écrite, le calcul ou le raisonnement (Gaonac'h et Fradet, 2003). Les prémices de l'apprentissage de la lecture s'effectuent en utilisant une procédure d'assemblage qui requiert la MdT. De nombreuses études indiquent le rôle essentiel de la MdT en lecture ainsi que son implication dans les difficultés d'apprentissage de la lecture (Swanson et Ashbaker, 2000 ;

Demont et Botzung, 2003 ; Boulc'h et al. 2007 ; Christopher et al. 2012). La faible capacité de la MdT compromettrait le maintien des informations traitées et leur intégration avec des informations antérieures (Boulc'h et al. 2007).

Le lien entre dysfonctionnement exécutif et difficultés de lecture était déjà relayé en 1993 par Gathercole et Baddeley, évoquant une limitation de la boucle phonologique ou de l'administrateur central (ou centre exécutif) (Cowan, 1995). Une défaillance de l'administrateur central de la MdT empêcherait la coordination des traitements de bas niveau (décodage) avec les processus de haut niveau (intégration syntaxique, sémantique, compréhension) (Boulc'h et al. 2007). En 1999, Swanson étudie la participation de la boucle phonologique et du centre exécutif chez des faibles et normolecteurs. A l'ensemble des tâches proposées (empan en lecture de phrases, empan visuo-spatial et empan de comptage), les faibles lecteurs de 11 ans ont obtenu des performances inférieures à celles des normolecteurs du même âge. En outre, les faibles lecteurs obtenaient des scores similaires que ceux obtenus par des enfants plus jeunes ayant le même niveau de lecture. L'étude de Swanson et Ashbaker (2000) confirme un déficit de l'administrateur central en excluant une atteinte de la boucle phonologique chez des enfants présentant un trouble spécifique de la lecture.

- Inhibition, lecture et apprentissages

Le processus d'inhibition favorise l'encodage des informations car il améliore l'attention que porte un enfant sur la matière enseignée. Un enfant présentant un trouble de l'attention et de l'inhibition risque de se lasser en classe après un certain temps (Martin et Nolin, 2009).

Denckla et Rudel (1976^a, 1976^b) ont indiqué pour la première fois la lenteur des dyslexiques (adultes et enfants) dans les tâches de dénomination rapide. Depuis, de nombreuses études se sont intéressées au lien entre dénomination rapide et lecture. La dénomination rapide est désormais reconnue comme un très bon prédicteur du niveau de lecture (Castel et al, 2008). En 1992, Wolf et Obregon (cités par Plaza et Raynaud, 2007) ont montré que la lenteur des enfants dyslexiques dans les tâches de dénomination rapide était due à des difficultés dans l'alternance entre activation et inhibition (difficultés de traitement de l'intervalle inter-stimuli).

En 2002, Brosnan et al. cités par Boujon, Gaux et al. (2004), émettent l'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives, et plus précisément de l'inhibition, pour expliquer les difficultés des enfants dyslexiques phonologiques à utiliser la voie d'assemblage. Ces enfants auraient des difficultés à passer d'un traitement global (mot) à un traitement analytique (lettre) car ils ne

parviendraient pas à inhiber les informations issues du traitement global. Ils ont vérifié ce déficit d'inhibition en proposant un test de figures imbriquées et une tâche d'empan envers en condition bruyante et non-bruyante, à une population d'enfants et d'adultes dyslexiques et à un groupe contrôle. Dans les deux situations de test, les dyslexiques ont montré plus de difficultés à inhiber les informations (visuelles ou verbales) non pertinentes. Ces données sont congruentes avec celles obtenues par Altemeier, Abbott et al. (2008). Cette étude précise que les différences individuelles dans les fonctions exécutives sont intimement liées aux performances en lecture et en écriture. Plus précisément, l'amélioration de l'inhibition entre le C.P. et le CM1 prédit significativement le niveau de lecture et d'orthographe en CM1. Les auteurs postulent que les jeunes lecteurs apprenant toujours à lire comptent sur leur capacité d'inhibition pour supprimer les informations distractives, car à ce stade le décodage est encore coûteux cognitivement.

L'étude de Christopher et al. (2012) montre des résultats en contradiction avec ce postulat. Dans leur étude, l'inhibition n'est pas uniquement un prédicteur de la lecture et de la compréhension. Les auteurs expliquent ces résultats en estimant que les capacités cognitives générales englobent l'inhibition, ce qui ne permet pas à l'inhibition d'être considérée comme une variable du décodage ou de la compréhension. Les auteurs ajoutent d'une part que ni la vitesse de dénomination ni l'inhibition ne peuvent prédire les performances en lecture. D'autre part, ils affirment que la mémoire de travail et la vitesse de traitement apparaissent comme deux facteurs importants et indépendants expliquant les différences individuelles de décodage et de compréhension de la lecture. Ils précisent le rôle encore plus important de la vitesse de traitement dans le processus de lecture que dans le processus de compréhension.

⇒ Ce chapitre a permis de définir les processus cognitifs déficitaires des enfants TDA/H et de préciser les difficultés d'apprentissage et de lecture que peuvent rencontrer ces enfants. Les performances exécutives et attentionnelles sont dépendantes des paradigmes qu'utilisent les outils de mesure. Dans le chapitre suivant, nous détaillerons les différentes situations d'évaluation ainsi que les facteurs pouvant entraîner une variabilité des performances.

EVALUATION DES PERFORMANCES ET CONTEXTE D'EVALUATION : EVOLUTION DES CONNAISSANCES

Dans le domaine de la psychologie, l'évaluation correspond à la notion de test permettant d'enregistrer le comportement pathologique de manière standardisée et systématique. En orthophonie, l'évaluation est relative au bilan initial mais aussi à l'estimation des résultats d'une rééducation orthophonique (Brin, Courrier, Lederle, et al. 2004).

1 Evaluation et mesure des performances : généralités

Lors de la conduite d'un bilan d'évaluation des performances chez l'enfant (langagières, mnésiques, attentionnelles...), il est important de garder à l'esprit le facteur évolutif des fonctions évaluées. Des changements dépendants de la génétique, des expériences, de l'environnement influenceront le développement de ces fonctions. Malgré l'influence de ces facteurs sur le développement, certaines étapes clés dans le développement émergent, statistiquement, chez tous les enfants à un moment donné de leur évolution. Ces étapes sont la base du recours aux tests étalonnés qui procurent des données normatives selon l'âge et délimitent les seuils acceptables dans le cadre de la variabilité inter-individuelle (Mazeau, 2003).

1.1 L'évaluation

« Terme générique désignant la supputation de la valeur ou de l'état, le plus souvent par référence à un idéal ou à une norme, en s'appuyant soit sur des appréciations subjectives, soit sur des mesures » (De Landsheere, 1991).

L'évaluation constitue une partie intégrante du travail du clinicien dans le domaine de la santé et de l'éducation. Les objectifs de l'évaluation peuvent être (Pierart, 2005 ; Bouchard, Fitzpatrick, Olds 2009) :

- De diagnostiquer la présence d'un trouble ou d'un déficit
- D'investiguer les forces et faiblesses du patient
- De cibler les objectifs et les stratégies d'intervention
- De mesurer l'efficacité d'une intervention

L'évaluation peut être de différentes natures (De Landsheere, 1991 ; Piérart, 2005 ; Bouchard et al. 2009) :

- L'évaluation normative : elle confirme la réalité du trouble. Les performances sont évaluées à l'aide d'épreuves psychométriques, comparées à la norme d'âge ce qui fournit une mesure de l'écart de l'enfant par rapport à cette norme.
- L'évaluation descriptive : elle procure une description de la sémiologie des troubles en références à des grilles qualitatives mais aussi en s'appuyant sur les connaissances théoriques de l'examineur. D'après des tableaux sémiologiques, les troubles sont étiquetés et des hypothèses étiologiques sont émises.
- L'évaluation critérielle : elle prend la forme d'une évaluation cognitive et rend compte des performances de l'enfant par rapport à des objectifs hiérarchisés et prédéterminés (en référence à un modèle théorique) et non par rapport aux performances d'un groupe normatif. Se référer au modèle théorique permet d'établir des hypothèses plus fines et plus précises sur la nature des dysfonctionnements. Cette évaluation n'est pas toujours possible au vu du manque de modèles théoriques décrivant les compétences qui se mettent en place, leur hiérarchie, l'ordre de leur apparition au cours du développement et leur relation avec d'autres facettes du développement de l'enfant. L'appellation « évaluation centrée sur des objectifs ou sur un domaine » serait plus correcte.

Lors du bilan orthophonique on évalue un sujet dans sa globalité, suite à la formation d'une plainte, dans une perspective d'estimation de ses savoirs (connaissance dans différents domaines), de ses savoirs –être (comportement) et de ses savoirs-faire (stratégies mises en place) (Coquet, 2000).

L'évaluation orthophonique du langage n'est pas la même partout, par exemple les pays anglo-saxons privilégient le recueil d'un corpus des productions spontanées de l'enfant, dans des situations aussi naturelles que possible, pour avoir une longueur moyenne des productions verbales . En Europe, l'évaluation standardisée au moyen de tests et de questionnaires est privilégiée. Certains critiquent cette démarche en argumentant que les tests ne reflèteraient que des performances dans une situation déterminée (Deltour, 2000)

1.2 La mesure

A la différence de l'évaluation, le terme de mesure a une acceptation plus restreinte correspondant à une description quantitative, à l'attribution d'un indice à un objet (De Landsheere, 1991 ; Bouvard, 2008).

La notion de mesure, base de la psychométrie, est généralement mal maîtrisée. En effet, chaque test est multi déterminé et mesure d'autres dimensions que celles qu'il est censé mesurer. Par exemple, un test de perception visuelle peut être échoué si le sujet présente un déficit attentionnel. Ainsi, les tests de mémoire, de praxies, de visuo-construction, d'attention etc. ne mesurent pas uniquement ce qu'ils sont censés mesurer (Michael, Perrier-Palisson et al., 2011).

1.2.1 Historique de la psychométrie

Le terme de test est employé pour la première fois en 1890 par Cattell, psychologue américain, dans son article « Mental tests and measurements ». C'est ce qui marque la naissance de la science des tests.

Le premier test d'intelligence a vu le jour en 1905, il est alors destiné à l'évaluation des arriérations mentales. Ses auteurs, Binet et Simon, en feront une version à destination de la population scolaire tout-venant en 1908. L'apparition des tests vient répondre à l'intérêt grandissant des psychologues pour les différences individuelles. Cet intérêt est porté par une société alors en pleine mutation et par l'avènement de l'évolutionnisme et des théories darwiniennes (Zazzo, 1996).

En 1860, Galton cherchant des réponses aux questions soulevées par *L'origine des espèces* met en place des épreuves. Galton et Quételet sont les inventeurs de méthodes statistiques, notamment celle de l'étalonnage (avec les notions de quartile et centile). Passionné par la mesure, Galton utilisera les statistiques au service de ses tests, ses méthodes de corrélation seront reprises et affinées par Karl Pearson (Nicolas, Andrieu, 2005). Le test d'intelligence de Binet-Simon sera retenu par les psychologues car, à la différence de Galton et Catell, Binet s'attache à la mesure des fonctions supérieures de l'esprit se manifestant dans nos conduites. Cet intérêt pour les différences individuelles concorde avec l'intérêt à cette époque d'aider les enfants incapables de suivre l'enseignement scolaire (Zazzo, 1996). Binet présente donc en 1905, une méthode diagnostique des états d'arriération mentale. Autrement dit, il s'agit plutôt

d'évaluer l'inintelligence que l'intelligence, sans que le concept d'intelligence soit d'ailleurs défini. Une vingtaine d'années plus tard, le travail initial de Binet sera dénoncé.

Aujourd'hui, la tendance est à l'inclusion des enfants handicapés et/ ou présentant un léger retard mental (JORF, 2005). Binet, à son époque, est le créateur des « classes de perfectionnement », il a donc été accusé d'avoir voulu créer une ségrégation des élèves en difficulté. En réalité, Binet veut croire à « la perfectibilité des anormaux » et conçoit les classes de perfectionnement comme des structures préparant la réintégration dans les classes normales (Zazzo, 1996). La transition entre l'épreuve d'inintelligence de Binet et son échelle d'intelligence met en évidence une remarque : la question de la mesure est réglée avant que celle de la nature de ce qu'on mesure, en l'occurrence l'intelligence, soit réglée.

La métrique du test de 1905 est simpliste (échelle de points), l'indication d'âge paraît dans la version de 1908, l'outil de dépistage est devenu un test permettant de hiérarchiser les enfants normaux. Binet s'est inspiré de la pratique scolaire pour créer ce second système d'évaluation, il l'utilisera d'abord pour comparer la taille des enfants, et a eu l'idée, dit-il, de « remplacer les écarts (à la moyenne) de taille par des écarts d'âge ». Il finira par appliquer cette métrique à l'intelligence (Zazzo, 1996). Les notions de retard et d'avance apparaissent sur la base de la comparaison entre l'âge mental d'un enfant et son âge réel. Plus tard, le QI sera calculé à partir de ces deux valeurs, Stern sera le premier à le mettre en œuvre en 1912 (Martin, 1997 ; Gerrhard et Lepaul, 2000).

Une autre vague de tests s'appuie sur une théorie de type élémentariste ou atomiste, considérant l'intelligence comme une somme d'aptitudes spécifiques et distinctes. Cette théorie sera vite abandonnée car elle ne prend pas en considération l'interaction des différentes fonctions élémentaires constituant l'intelligence. Néanmoins, ce modèle reste utilisé pour les tests destinés à mesurer des aptitudes spécifiques. Dans le champ du langage, de tels tests peuvent être utilisés car ils cherchent à évaluer des capacités spécifiques sous-tendant l'élaboration du langage (Gerhard et Lepaul, 2000).

Le modèle analytique, tend à mesurer les relations existantes entre plusieurs phénomènes composant l'intelligence. Le coefficient de corrélation entre les résultats aux différents tests est nommé facteur G (facteur commun général). Spearman démontre que la réussite dans certaines épreuves dépend de ce facteur G. Il introduira par la même occasion, la notion de facteurs S, facteurs spécifiques à chaque test permettant de les différencier les uns des autres (Martin, 1997).

Depuis le début du XXème siècle, les méthodes d'évaluation et donc les tests, ont considérablement évolué. Wechsler, s'inspirant de l'échelle Binet-Simon, crée en 1940 trois échelles d'intelligence : Wechsler Intelligence Scale Children (W.I.S.C.), Wechsler Pupil Pre-School Intelligence (W.P.P.S.I.) et le Wechsler Adult Intelligence Scale (W.A.I.S.). Ces tests sont les premiers à ajouter un aspect qualitatif à l'évaluation purement quantitative. Ces tests sont marqués par la référence aux théories piagésiennes du développement de l'intelligence.

Les tests orthophoniques, élaborés en majeure partie dans les laboratoires de psychologie, ont donc une construction semblable aux tests utilisés en psychologie. Les tests, comme nous les connaissons aujourd'hui dans le domaine de la psychologie ou de l'orthophonie, sont donc le fruit de travaux de recherches et d'expérimentations réalisés au cours du XX et XXI ème siècles.

1.3 Les qualités métrologiques d'un test

La mesure des performances se fait en utilisant des tests construits selon des méthodes scientifiques. Evaluer les performances au moyen de tests, consiste à placer le sujet testé dans une situation expérimentale standardisée servant de stimulus à un comportement. Les tests peuvent être utilisés pour l'examen individuel d'un sujet ou dans le domaine de la recherche. Un bon test réunit des qualités métrologiques (validité, sensibilité, fidélité) attestant de l'objectivité et de la valeur prédictive du test. (Haddou, 1999).

- La validité

Cette qualité renvoie à la cohérence du test par rapport à ce qu'il est censé évaluer. Cette notion précise si le test fournit les informations adéquates nécessaires à l'utilisateur. Plusieurs sortes de validités sont distinguées : validité de contenu, de construit, concourante et prédictive (Haddou, 1999). Les validités de surface, de contenu et de critère composent le premier niveau de la validité théorique. La validité de critère est elle-même subdivisée en validités prédictive, discriminative et concourante, cette dernière étant composée de la validité convergente et de la validité discriminante (Bouvard, 2008).

- La sensibilité

C'est la finesse discriminative d'un test, c'est-à-dire sa capacité à classer de manière nuancée les individus qu'il teste. Cette qualité est liée au nombre et à la variété de contenus des items constituant le test (Haddou, 1999). La sensibilité d'un test est liée à la spécificité. Un test trop sensible détecte plusieurs troubles et ne permet pas de déterminer ce qu'il détecte. Il faut donc

que le test soit également spécifique : qu'il détecte uniquement les troubles de l'attention si c'est un test d'attention, de mémoire si c'est un test de mémoire (Michael et al., 2011).

- La fidélité

Cette qualité métrologique correspond à la précision d'un instrument et à la stabilité des résultats obtenus quel que soit l'utilisateur du test (interjuges) ou dans le temps (test-retest) (Haddou, 1999 ; Bouvard, 2008)). C'est une qualité importante puisqu'elle renseigne sur la fiabilité d'un test. Pour certaines fonctions cognitives, telle que l'attention, la mesure de la fidélité est difficile à obtenir car c'est une fonction qui fluctue au cours du temps (Michael et al., 2011)

Toutes ces précautions pour construire et valider un test ne seront pas utiles si son utilisation n'est pas régie par des règles strictes. Etant destinés à une observation, une des caractéristiques principales des tests est la standardisation, garante d'une observation « objective » (Huteau et Lautrey, 2003).

- La standardisation et l'étalonnage

L'objectif de la standardisation est de réduire au maximum les biais dus à l'observateur. Une observation est dite objective lorsque plusieurs observateurs indépendants décrivent de manière identique la conduite d'un sujet. Les manuels des tests décrivent la standardisation de la situation d'évaluation, des consignes et de la description du sujet. Il est donc important que les consignes soient les mêmes pour tous, sans être forcément débitées à l'identique, il est important que l'examineur ait à l'esprit la fonction de la consigne et c'est cette fonction qui doit être respectée (Huteau et Lautrey, 2003).

Quant aux résultats, ils sont comparés à des normes strictes provenant de l'étalonnage des tests. L'étalonnage consiste à faire passer à un échantillon représentatif de la population chaque test, afin de procéder à une répartition statistique des différentes notes obtenues. Les résultats d'un individu à un test sont comparés à ceux de son groupe de référence (âge, sexe, niveau socioculturel), ce qui permet de le situer dans son groupe (Haddou, 1999). En orthophonie, l'utilisation de tests normés permet de définir des normes développementales pour les compétences langagières par exemple. Ces normes sont exprimées en niveau d'âge ou en note standard. Se référer à des normes est indispensable dans l'évaluation, il est toutefois important de rester prudent quant à l'interprétation des résultats. Ainsi, des résultats

homogènes à une batterie de langage ne font pas penser au même profil cognitif que des résultats dissociés (Leloup, 2007).

La méthode des tests repose sur un principe d'économie. En effet, la situation d'évaluation avec ses variables contrôlées et ses interprétations codifiées, remplace les situations naturelles dites complexes, indéterminables et indéchiffrables (Bried, 1994).

2 Les différents types d'outils d'évaluation

En 1949, Pichot a proposé une définition des tests : « On appelle un test mental une situation expérimentale standardisée servant de stimulus à un comportement. Ce comportement est évalué par une comparaison statistique avec celui d'autres individus placés dans la même situation, permettant ainsi de classer le sujet examiné, soit quantitativement, soit typologiquement ».

2.1 Direct / indirect

L'évaluation directe correspond à l'utilisation de tests. L'utilisation de questionnaires correspond à une méthode d'évaluation dite « indirecte » puisque le comportement est évalué en différé (Bouvard, 2008). Les questionnaires ou échelles d'autoévaluation sont remplis par le sujet lui-même alors que les hétéroquestionnaires sont cotés par un professionnel ou par les parents. Dans ce type de questionnaire, chaque item correspond à un aspect du phénomène étudié accompagné d'une définition détaillée, afin d'éviter les ambiguïtés d'interprétation (Bouvard, 2008).

L'objectivité de la mesure d'un test n'est ni acquise dans les échelles ni dans les questionnaires car (Bouvard, 2008) :

- La cotation d'une échelle repose sur un entretien avec le sujet ou sur l'observation de son comportement
- La complétion d'un questionnaire repose sur la subjectivité du cotateur

Les échelles comportementales et les questionnaires complétés par les parents et les enseignants font partie des techniques les plus utilisées pour évaluer les psychopathologies de l'enfant (Achenbach et McConaughy, 1987). Un certain nombre de ces instruments ont de fortes propriétés psychométriques (DuPaul et Barkley, 1992 ; Kern, 2007). Dans la plupart des cas, les personnes interrogées doivent indiquer la fréquence et / ou la sévérité de différents

problèmes comportementaux en se basant sur leurs observations lors de situations à la maison ou en classe. La cotation de ces échelles ou questionnaires, fournit des informations importantes concernant la fréquence des symptômes, la variabilité des problèmes de comportement (occurrence et sévérité) au cours de situations à la maison ou en classe, qui ne sont pas perceptibles (Barkley et Edelbrock, 1987). Une analyse fonctionnelle du comportement peut conduire ensuite à déterminer les possibles facteurs environnementaux déclenchant ou exacerbant les symptômes (DuPaul et Barley, 1992).

Aujourd'hui, la recherche fondamentale et la recherche clinique, engagent de plus en plus les parents dans l'évaluation des compétences langagières de leurs enfants. Les parents remplissent alors des questionnaires étalonnés permettant de situer l'enfant par rapport à une norme de référence. Cette technique présente certains avantages : administration et dépouillement rapides, valeur écologique des données rapportées, informations riches et exhaustives (Kern, 2007). Toutefois, la fiabilité des informations recueillies auprès des parents peut être remise en question. A propos des parents, Kessen (1965) disait « personne d'autre que le parent attentif ne peut mieux connaître les changements subtils qui ont lieu dans le monde de l'enfant et de son comportement mais, d'autre part, personne n'est en mesure de distordre autant la vérité qu'un parent aimant ». La fierté naturelle des parents et leur ignorance quant au système linguistique et son fonctionnement peuvent venir biaiser les évaluations parentales (Kern, 2007). Toutefois, tout comme les tests, les questionnaires doivent répondre à des critères métrologiques pour être valides.

- Questionnaires TDA/H

Les meilleures sources d'information sur les symptômes du TDA/H sont les parents et les enseignants, la situation clinique pouvant masquer l'instabilité motrice et le déficit attentionnel. Cela implique de considérer que les constatations des parents ont une validité satisfaisante. Typiquement, les difficultés attentionnelles et comportementales sont rapportées à l'entrée en primaire où le respect des règles de vie collective et le maintien de la concentration sont requis. Les situations de groupe, le brouhaha et les distracteurs deviennent ingérables pour les enfants les plus vulnérables (Purper-Ouakil, Whol, Michel, et al., 2004). Dans leur étude concernant les propriétés psychométriques des questionnaires Home Situations questionnaire (HSQ ; Barkley, 1981) et School Situations Questionnaire (SSQ ; Barkley, 1981) destinés à évaluer les difficultés attentionnelles, DuPaul et Barkley (1992) obtiennent des résultats indiquant que la présence ou l'absence de difficultés attentionnelles au cours des situations est similaire à la maison ou en classe, alors que la sévérité de ces

difficultés diffère selon la situation. Cette divergence était attendue par les auteurs puisque les exigences attentionnelles et comportementales ne sont pas les mêmes à la maison et en classe. Selon les auteurs, les questionnaires HSQ et SSQ sont des adjonctions importantes dans l'évaluation car eux seuls peuvent déterminer dans quelle mesure les problèmes attentionnels se manifestent au cours des diverses situations.

Les résultats d'études statistiques rapportent que l'évaluation du comportement inattentif de l'enfant par les enseignants est plus fiable que celle des parents ; a contrario, l'évaluation parentale de l'hyperactivité et d'impulsivité est plus fiable que celle des enseignants (Vaz-Cerniglia, 2007).

Le faible taux de concordance entre les cotations des parents et des enseignants à des questionnaires n'est pas méconnu dans la littérature. Les divergences entre parents et enseignants ne signifient pas que leurs cotations respectives sont inexactes. Au contraire, cela reflète les différences d'exigences selon l'environnement (maison versus école) et les différents seuils de tolérance de chacun des cotateurs (Payne, Hyman et al. 2011).

- Exemples d'échelles et de questionnaires

L'échelle de Conners (Conners, Parker, Sitarenios et al., 1998 ; Conners , Sitarenios , Parker, et al. 1998) comporte une version pour les parents (48 items) regroupés en cinq facteurs (troubles des apprentissages, troubles des conduites, anxiété, manifestations somatiques et impulsivité hyperactivité), et une version pour les enseignants (28 items). Dans les deux versions, le regroupement de dix items permet d'obtenir un index d'hyperactivité.

La Child Behavior Checklist (Achenbach, 1991) pour les 4-18 ans (CBCL/4-18) est une échelle globale d'évaluation de la psychopathologie des enfants. Elle permet une description standardisée des troubles émotionnels, comportementaux et des compétences sociales.

La SNAP IV (Swanson, Kraemer, Hinshaw et al., 2001) est une version modifiée du questionnaire SNAP (Swanson, Sansdman et al., 1983). Les items du DSM IV du TDA/H et du trouble oppositionnel avec provocation y sont inclus.

Le BRIEF (Behavior Rating Scale Inventory of executive function ; Gioia, Isquith, Guy et al. 2000) est une échelle comportant une version parents et une version enseignant, destinée à évaluer le fonctionnement exécutif de 5 à 18 ans.

La SKAMP (Swanson, 1992) est une échelle comportant 10 items, destinée à évaluer les difficultés attentionnelles et de comportement en situation de classe.

2.2 Informatisé / papier crayon

Les développements de l'informatique dans les années 1940 puis dans les années 1970, ont permis dans un premier temps de développer des méthodes d'analyse des données (analyse factorielle notamment), puis dans un second temps de corriger les résultats. Ce n'est que progressivement que les ressources offertes par l'informatique ont été exploitées (Huteau et Lautrey, 2003). De nombreux tests neuropsychologiques traditionnels ont été informatisés tels que la WAIS ou le Wisconsin Card Sorting Test (Schatz et Browndyke, 2002). Actuellement la situation de passation est souvent informatisée ce qui permet l'enregistrement de nombreux paramètres de l'activité mentale avec une grande précision de la mesure : nombre et nature des erreurs, temps de réaction à la présentation des stimuli, durée de résolution, ordre des opérations effectuées (APA, 1986).

Toutes ces données permettent d'affiner l'analyse des stratégies utilisées et par la même occasion d'affiner les diagnostics (Huteau et Lautrey, 2003). De plus, les évaluations informatisées sont simples à administrer ce qui requiert moins d'entraînement et de surveillance de la part de l'examineur et sont moins sujettes aux erreurs humaines (Mead et Drasgow, 1993). Un autre atout de l'informatisation des tests est la possibilité de stocker les informations recueillies au cours des passations. Enfin, certaines fonctions sont difficilement mesurables avec des tests papier-crayon, comme par exemple l'attention, du fait de la fluctuation à court terme des performances (Michael et al., 2011).

Avec l'informatisation, l'interaction entre le sujet et l'examineur peut totalement disparaître ce qui procure une standardisation de l'épreuve maximale. L'APA (1986) ajoute que l'informatisation capte l'intérêt et l'engagement du patient, libère l'examineur de la collecte des résultats et permet de changer rapidement des caractéristiques graphiques telles que la taille de la police pour des tâches de lecture par exemple. Toutefois, l'absence de contact direct avec l'examineur peut être un inconvénient, lorsque par exemple, le patient cherche à se rassurer en regardant les indications de l'examineur, ce qu'il ne trouvera pas avec un ordinateur (Space 1981, Michael et al., 2011). Il est important de garder à l'esprit que le construit évalué par un test peut être affecté par le moyen d'administration, ce qui explique parfois les faibles corrélations entre les résultats à un test papier-crayon et à sa version informatisée (Mead et Drasgow, 1993).

- Exemples de tests attentionnels informatisés

La batterie informatisée KITAP (Zimmermann, Gondan et Fimm, 2002) est composée de huit épreuves évaluant différentes composantes de l'attention (alerte phasique, attention soutenue, attention divisée, attention sélective, distractibilité, flexibilité, inhibition et vigilance). La batterie est étalonnée de 6 à 10 ans. De plus, les épreuves ont une présentation ludique adaptée aux plus jeunes.

Le TIFA 1.0 (Pépin, Laporte et Loranger, 2006) est une batterie informatisée reposant sur les principes théoriques de Van Zomeren et Brouwer (1994). Le TIFA s'adresse aux enfants âgés de 6 à 12 ans et permet d'évaluer les différents aspects du système attentionnel. La batterie est composée de 9 sous-tests en modalité visuelle ou auditive.

La batterie informatisée CANTAB (The Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery) s'adresse à une large population, de 5 à 87 ans. Cette batterie évalue diverses compétences cognitives (mémoires, fonctions exécutives...) dont l'attention. L'interface tactile permet d'éliminer l'influence d'éventuels déficits associés (déficits sensoriels, moteurs).

Le CPT II version 5.2 pour Windows (Conner's Continuous performance test ; Conners et MHS Staff, 2000), est une batterie informatisée évaluant les processus attentionnels (vigilance, alerte, attention soutenue, inhibition) dès 6 ans. L'administration de cette batterie est rapide (14 minutes). Une version pour les 4-5 ans (Conner's Kiddie Continuous performance test (K-CPT)) existe.

- Exemple de la présentation d'un nouvel outil informatisé

Le K-Classic (Kaufman A. S. et Kaufman N. L., 2007), est un outil informatisé d'évaluation des capacités attentionnelles et cognitives chez les enfants âgés de 6 à 10 ans. Lors de la conférence de presse présentant ce nouvel outil, les auteurs ont mis en avant les atouts de l'informatisation du test :

- l'informatisation de l'administration et de la cotation limite les possibles erreurs de calcul
- l'informatisation permet de libérer l'administrateur des prises de notes pour mieux se consacrer à l'observation de l'enfant

- l'informatisation permet l'administration d'épreuves à des enfants présentant des troubles du comportement ou étant dans l'opposition face aux tests psychométriques classiques

Toutefois, les chercheurs et psychologues assistant à cette présentation ont émis des réserves quant à l'utilisation de tests informatisés tels que le K-Classic : quelle est alors la place du psychologue lorsqu'une passation est entièrement informatisée ? ; qu'advient-il de la relation clinique patient-examineur ? ; quelle est l'influence de l'écran sur le contrôle attentionnel et donc sur l'approche globale des processus mentaux ? (Vannetzel L., 2008)

2.3 Ecologique / non écologique

Les premiers écrits sur la notion de validité écologique datent des travaux du psychologue Brunswik (1943, 1952, 1956 cité par Guastavino, 2009), introduisant pour la première fois la notion de « validité écologique ». La validité écologique d'un test correspond d'une part, à la représentativité de ce test avec des situations du quotidien et/ou à sa capacité à solliciter des habiletés de la vie quotidienne. D'autre part cette notion renvoie à la possibilité de prédire les comportements dans un milieu naturel en fonction des scores obtenus au test (Franzen, Wilhelm et al., 1996) ; Martin et Nolin, 2009).

La définition des tests proposée par Pichot (1949) comporte les termes de « situation expérimentale », ce qui précise que la situation de test n'est pas une situation réelle mais une situation montée de toute pièce, servant à induire un comportement chez l'individu évalué (Michael, Perrier-Palissot et al., 2011).

Les neuropsychologues se sont attachés à créer des tests fiables et valides pour évaluer avec précision le comportement humain. Pour cela, ils ont fractionné le comportement humain en fonctions cognitives séparées. Toutefois, un décalage entre les demandes des tests neuropsychologiques et le fonctionnement dans la vie quotidienne est indéniable, ce qui réduit le pouvoir prévisionnel des tests (Neisser, 1978). A l'origine, les tests neuropsychologiques avaient un rôle diagnostique et les travaux de recherche s'attachaient à examiner la sensibilité des tests (dépister la présence d'une pathologie). Aujourd'hui, nous attendons d'un test qu'il précise la nature des processus altérés et le retentissement des altérations dans la vie quotidienne (Klinger et al., 2008).

Les fonctions exécutives comptent un nombre de compétences cognitives et comportementales interdépendantes, responsables du comportement dirigé vers un but, de la

planification, de la flexibilité cognitive, de la capacité d'abstraction ou encore du contrôle de l'impulsivité (Stuss et Alexander, 2000). L'évaluation neuropsychologique classique des fonctions exécutives comporte des épreuves non spécifiques, des épreuves d'efficience intellectuelle et mnésique, ainsi que des épreuves spécifiques (Le Thiec, Jokic, Enot-Joyeux et al., 1999). Le Thiec et al. (1999) ont évalué les fonctions exécutives de patients traumatisés crâniens graves, et rapportent le manque de sensibilité des tests exécutifs mais aussi une possible normalisation des performances aux tests neuropsychologiques alors qu'il persiste des troubles du comportement chez ces patients.

Les mesures cognitives conventionnelles sont souvent administrées dans un cadre clinique structuré au moyen d'épreuves laissant peu de place au libre choix du sujet. De plus, les tâches proposées sont fortement initiées par l'examineur et sont à exécuter dans un temps limité. Les auteurs ajoutent une autre limite aux tests provenant de la difficulté du transfert des acquis dans la vie quotidienne (Le Thiec et al., 1999). Il semble de plus en plus évident que les tests conventionnels évaluant les fonctions exécutives ne sont pas assez sensibles pour détecter des troubles exécutifs, plus particulièrement chez les enfants (Chan, Shum, Touloupoulou, Chen, 2008) et que la majorité des tests exécutifs sont à destination de la population adulte (Anderson, 1998).

Alors que certains des outils traditionnels évaluant les fonctions exécutives montrent d'impressionnantes propriétés psychométriques et une utilité clinique, beaucoup d'autres sont limités par leur validité, leur fiabilité test-retest et leur capacité à saisir des comportements naturels fréquents dans la vie de tous les jours (Chan et al., 2008). Les tests cognitifs évaluant l'attention et les fonctions exécutives ont tendance à avoir une faible relation avec les activités de la vie de tous les jours (Chan et al., 2008). En 1991, Barkley critique la validité écologique des tests informatisés utilisés pour l'évaluation du TDA/H et suggère que, l'évaluation la plus écologique est de combiner l'utilisation de test et l'observation du comportement en milieu naturel.

Les questionnaires tels que le BRIEF ou le Conners, procurent un moyen de comprendre et d'élargir le profil cognitif des enfants, en capturant les difficultés spécifiques rencontrées dans l'environnement de tous les jours, ce qu'un score à un test neuropsychologique traditionnel est incapable de donner (Payne, Hyman, Shores et North, 2011). Au lieu de donner un simple échantillon des performances dans un cadre idéal, ces questionnaires prennent en compte les

performances dans un environnement naturel, où des distracteurs normaux sont présents et où la situation est moins structurée (Payne et al., 2011).

L'étude de Payne et al. (2011) s'intéresse à la relation entre les mesures cognitives des fonctions exécutives et attentionnelles, et le comportement dans le monde réel. Pour cela ils ont comparé les résultats obtenus à des tests cognitifs et à des questionnaires exécutif et attentionnel. Leurs résultats rapportent que les tests cognitifs ont un caractère prédictif modéré du comportement. Par exemple, les résultats à l'épreuve d'attention soutenue du TEA-Ch (Manly et al. 1999) ont une valeur prédictive modérée de l'inattention à l'école ou à la maison. De plus, les résultats de cette dernière étude, n'indiquent aucune corrélation entre les performances obtenues à des tests neuropsychologiques traditionnels évaluant les fonctions exécutives et les problèmes exécutifs fonctionnels (au quotidien). Les auteurs émettent plusieurs hypothèses quant au manque de corrélations entre les outils de mesure. Une des explications est que ces instruments exploitent des substrats neuroanatomiques distincts, chacun d'entre eux sous-tendant une fonction unique.

Les travaux récents en neurosciences ont permis de classer les fonctions exécutives en fonctions « froides » (associées au cortex dorso-latéral préfrontal) et en fonctions « chaudes » (associées au cortex préfrontal ventromédial ou orbitofrontal) (Happaney, Zelazo et Stuss, 2004). Les fonctions froides sont plus cognitives par nature (attention, mémoire de travail, organisation) alors que les fonctions chaudes impliquent des traits tels que le contrôle de l'impulsivité, l'inhibition de réponse et la cognition sociale) (Chan et al., 2008). Il est donc possible que des questionnaires comportementaux tels que le BRIEF explorent les fonctions chaudes alors que l'aspect froid est capturé par les tests cognitifs classiques, ce qui explique le manque de corrélations entre les résultats obtenus à ces deux différents types de mesure. L'autre explication que proposent les auteurs est que les items de la BRIEF sont plus spécifiques pour identifier les faibles performances dans les tâches de l'environnement quotidien que les mesures conventionnelles.

Les tests cognitifs traditionnels font appel à des réponses simples à des événements uniques dans un cadre d'évaluation calme, structuré et standardisé. Ces tests ont pour objectif d'obtenir une estimation des meilleures performances possibles du patient dans des conditions idéales. A l'inverse, les cotations des parents au questionnaire BRIEF sont basées sur plusieurs observations du comportement de l'enfant dans l'environnement quotidien, sur une période de six mois. Les parents font leurs observations sur des tâches complexes apparaissant

dans un environnement moins prévisible et structuré que celui du bureau de l'examineur. Payne et al. (2011) concluent leur étude en suggérant que les évaluations neuropsychologiques devraient inclure des tests cognitifs et fonctionnels pour cerner plus précisément les forces et faiblesses des enfants afin de guider la rééducation.

- Exemple d'outils écologiques

La SKAMP (Swanson, 1992) est une échelle comportant 10 items, destinée à évaluer les difficultés attentionnelles et de comportement en situation de classe.

Le BRIEF (Behavior Rating Scale Inventory of executive function ; Gioia, Isquith, Guy et al. 2000) est une échelle comportant une version parents et une version enseignant. Les deux versions se proposent d'évaluer les troubles du fonctionnement exécutif à travers les comportements réels de l'enfant, dans ses contextes de vie. Le BRIEF s'engage à donner une mesure écologique et sensible aux changements développementaux du fonctionnement exécutif.

La BADS-C (Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome for Children ; Emslie, Wilson, Burden et al. 2003) est une batterie comportementale d'évaluation du syndrome dysexécutif chez l'enfant. Cette batterie est dédiée à évaluer les déficits précoces des fonctions exécutives chez les enfants atteints de pathologies neuro-développementales. Elle se compose de six épreuves évaluant en situation écologique l'inhibition, la flexibilité, la planification, la résolution d'un problème nouveau, l'organisation, le contrôle...

⇒ Les outils traditionnels d'évaluation regroupent donc plusieurs limites : manque de naturel, manque de validité écologique, influence de l'examineur et des conditions de passation, manque de fiabilité et de validité des tests comparé à l'activité cérébrale. L'utilisation des technologies de la réalité virtuelle permet de remédier à ces manques (Klinger et al., 2008).

2.4 Réalité virtuelle

« On peut en savoir plus sur quelqu'un en une heure de jeu qu'en une année de conversation » (Platon)

Comme nous venons de le voir, l'informatisation des tests permet une mesure directe et précise des compétences tout en réduisant les biais dus à l'examineur. Les outils écologiques quant à eux, permettent une mesure des performances dans un environnement semblable aux situations de vie quotidienne et/ou sollicitant des habiletés de la vie quotidienne. La réalité virtuelle se positionne au carrefour de ces deux types d'outils.

Depuis une quinzaine d'années, la réalité virtuelle s'est développée en France ce qui laisse entrevoir de nouvelles perspectives pour notre société. D'un point de vue linguistique, le terme de « réalité virtuelle » est un oxymore issu de l'expression anglaise « virtual reality » introduite dans les années 1980 par Jaron Lanier (Fuchs et al., 2006). En effet, cette dénomination fait se rapprocher deux termes opposés : « réalité » et « virtuel ». La notion de réel renvoie au monde physique, matériel, qu'un sujet peut percevoir ou sur lequel il peut agir. Le terme de virtuel renvoie quant à lui à la possibilité de rendre cette réalité grâce à l'ordinateur. L'objectif est de donner au sujet explorant l'illusion d'un réel auquel il participerait. (Troccaz J., 2001 ; Grumbach A., 2004). En effet, la réalité virtuelle est issue de la science et de la technique, elle permet de donner à l'utilisateur (ou plusieurs) une impression de présence dans un univers synthétique créé grâce à un ordinateur. Cet univers peut être imaginaire, symbolique ou simuler certains aspects du monde réel. L'interaction entre utilisateur et monde virtuel est cognitive et immersive (Klinger, 2006).

La notion d'immersion est décrite par Pimentel et Teixeira (1994, cités par Klinger, 2006) comme « l'état d'un participant lorsque l'un ou plusieurs de ses sens [...] est isolé du monde extérieur et n'enregistre plus que des informations issues de l'ordinateur. ». Les systèmes les plus souvent utilisés pour parvenir à cette immersion ont un dispositif de visualisation : écran ou casque de vision stéréoscopique ou Head-Mounted-Display (HMD). L'intérêt du système HMD est d'intégrer un capteur de position, ce qui permet à l'ordinateur de calculer en temps réel les nouvelles images correspondantes au nouveau point de vue du sujet portant le casque, transférant ainsi les déplacements du monde réel dans le monde virtuel.

L'interaction peut être définie comme un langage de communication entre l'homme et la machine, c'est-à-dire l'ensemble des actions et réactions réciproques entre l'homme et la

machine par l'intermédiaire d'interfaces sensorielles, motrices et de techniques d'interactions (Sternberger, 2006). Ces interfaces peuvent être de différentes natures, de la plus basique telle que l'association écran-souris jusqu'aux moyens les plus sophistiqués et les plus immersifs tels que le visiocube. Durant l'interaction entre l'utilisateur et l'environnement virtuel, les fonctions cognitives et sensorielles de l'individu sont stimulées de façon pseudo-naturelle (Klinger, 2006).

« L'interaction et l'immersion doivent être en partie réalisée, même modestement, pour parler d'un système basé sur des techniques de réalité virtuelle » (Fuchs et al., 2006).

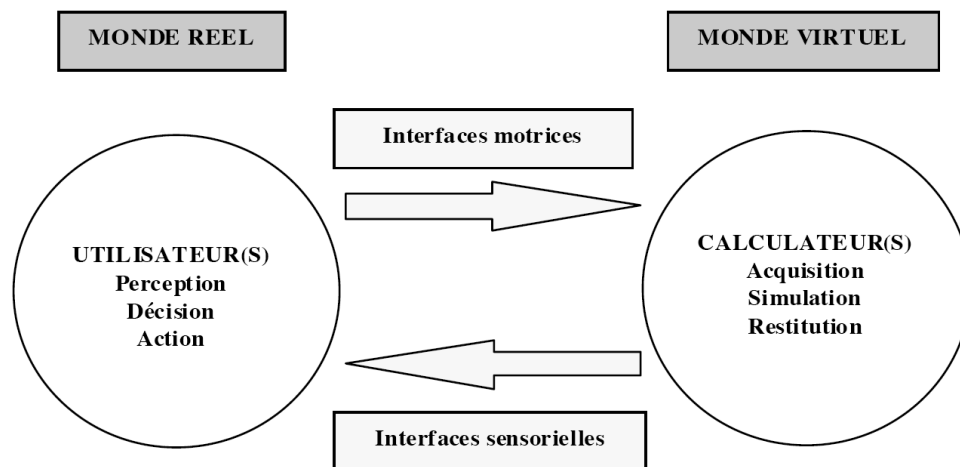


Figure 10 : La boucle « perception, cognition, action » passant par le monde virtuel, d'après Fuchs et al. (2006)

La réalité virtuelle occupe une place particulière dans le domaine scientifique puisqu'elle est au carrefour des sciences humaines et des sciences de l'ingénieur (Fuchs et al., 2006)

Dans le domaine des sciences, l'homme en tant qu'utilisateur est placé au centre du développement des technologies de la réalité virtuelle, ce qui induit une synergie avec de nombreux domaines scientifiques. A titre d'exemples, Fuchs et al. (2006) citent :

- La psychologie sociale et les sciences du comportement étudient les actions et les perceptions humaines

- L'ergonomie développe des connaissances et améliore la conception et l'évaluation des environnements de réalité virtuelle
- La psychologie cognitive étudie la nature des processus cognitifs du sujet lorsqu'il réalise une activité au sein d'un environnement virtuel
- La physiologie, la neurobiologie....

La réalité virtuelle offre des possibilités d'évaluation et de réhabilitation irréalisables par des outils classiques de la neuropsychologie (Le Gall et Allain, 2001). Les applications de la réalité virtuelle dans le domaine de la psychologie et de la neuropsychologie permettent d'appréhender le fonctionnement cognitif et comportemental d'un individu, de l'aider dans son handicap et ses dysfonctionnements (Klinger, Marié, Fuchs, 2008). Les atouts majeurs de la réalité virtuelle sont l'amélioration de la sensibilité et de la validité écologique de la mesure. Les distracteurs extérieurs et les variables parasites sont contrôlés, la réalité virtuelle permet ainsi de saisir le comportement réel du sujet se comportant naturellement.

L'utilisation de la réalité virtuelle permet la gestion du chronométrage, le contrôle des distracteurs, la présentation et la complexité des stimuli (Klinger et al. 2008). De plus, les caractéristiques des réponses du sujets seront enregistrées (temps de réaction, précision, rythme) ce qui permet une analyse plus fine des résultats. Comme tout outil informatisé, la cotation automatique limite les erreurs pouvant contaminer l'interprétation des résultats (Martin et Nolin, 2009). Ces atouts améliorent la fiabilité des évaluations en réduisant les biais dus à l'examineur, à l'environnement et à la qualité des stimuli.

Enfin, la réalité virtuelle améliore la validité des évaluations en procurant des mesures plus spécifiques et plus précises des comportements et en améliorant la validité écologique des évaluations. Ainsi, les résultats obtenus ont une répercussion sur le développement de programmes de réhabilitation cognitive plus adaptés (Klinger et al., 2008). Plus précisément, cette nouvelle technologie offre l'opportunité de comprendre, mesurer et traiter les perturbations cognitives retrouvées chez des patients ayant subi un traumatisme crânien, un accident vasculaire cérébral ou étant porteurs de maladie neuro-dégénératives, de troubles du développement ou de l'apprentissage (Le Gall et Allain, 2001). Il existe d'ores et déjà des applications testées et développées qui permettent d'explorer différentes composantes du système cognitif telles que l'attention, les fonctions exécutives, la mémoire et les habiletés spatiales (Rose et al. 2005 ; Klinger et al. 2006 ; Parsons et al. 2007)

- Exemple d'outils en réalité virtuelle

La classe virtuelle (Rizzo, Buckwalter, Bowerly et al., 2000), est un outil d'évaluation de l'attention. L'environnement d'une classe est simulé grâce à la réalité virtuelle. La tâche attentionnelle à exécuter est la tâche A-K du CPT (la suite de lettre A K doit être repérée parmi une suite de stimuli lettres).

En 2007, Parsons, Bowerly et al. ont réalisé une étude auprès de 10 enfants TDA/H et 10 enfants contrôles. Leurs résultats montrent que les mesures de la classe virtuelle sont corrélées à celle du CPT et de la SWAN behavior Checklist.

Adams, Finn et al. (2009) ont proposé à 19 enfants TDA/H et 16 enfants contrôles sains, un protocole d'évaluation contenant : le CPT, la classe virtuelle et la BASC (Behavior Assessment System for Children). Le but de leur étude est de montrer la capacité de la classe virtuelle à distinguer les enfants TDA/H des contrôles et d'évaluer l'effet de « distracteurs écologiques ». Leurs résultats n'indiquent ni de corrélation entre les performances à la BASC et les performances au CPT, ni entre BASC et classe virtuelle. Les auteurs trouvent une différence significative entre les performances des TDA/H et des contrôles à la classe virtuelle, les enfants TDA/H ayant de moins bons scores en général que les sujets sains. Adams et al. ne retrouvent pas cette différence entre les performances de chacun des groupes au CPT.

Pollak, Weiss et al. (2009) ont créé un protocole d'évaluation contenant la classe virtuelle, le CPT et le TOVA (Test of Variables of Attention ; ce test évalue la vigilance, l'impulsivité et la distractibilité). Ils ont proposé ce protocole à 37 enfants TDA/H et 17 sujets sains. Le but de leur étude est de comparer les performances des enfants TDA/H à ces différents tests. Les résultats indiquent une corrélation entre la variabilité du temps de réaction à la classe virtuelle et le score total de la DRS (Diagnostic Rating Scale). Leurs résultats indiquent aussi que l'ensemble des mesures de la classe virtuelle distinguent les enfants TDA/H des sujets sains.

Le supermarché VAP-S (Virtual Action Planing Supermarket ; Klinger, Chemin, Lebreton et al. 2004), a été développé en première intention pour évaluer les troubles exécutifs dans la maladie de Parkinson ainsi que chez les sujets âgés. Puis des chercheurs l'ont utilisé auprès d'une population ayant eu un accident vasculaire cérébral (AVC). L'environnement d'un supermarché est simulé. La tâche consiste à acheter sept produits figurant sur une liste prédéfinie, se rendre à la caisse, payer et sortir.

3 Variabilité de la performance

Quelle soit automatisée ou personnalisée, l'observation est sensible à l'anxiété des sujets et à leurs apprentissages antérieurs. Une forte ou une faible anxiété sont des freins au développement et à l'acquisition des compétences cognitives. Pour une part, cette relation est aussi induite par la situation d'évaluation (Saranson, 1980 cité par Huteau et Lautrey, 2003). La situation de test est anxiogène et l'est d'autant plus que l'on se trouve dans un contexte de contrôle ou de sélection. Le test a pour objectif de mesurer certaines compétences cognitives ou connaissances. Il est alors important de distinguer les connaissances et compétences relativement générales (les plus intéressantes car leur champ d'application est large) des connaissances et compétences spécifiques à la situation d'évaluation (celles-ci sont la cause d'efficiency dans le test mais uniquement dans le test, et donc moins intéressantes) (Huteau et Lautrey, 2003).

3.1 Variables générales

- Variation au cours du temps

Les études de la variation des comportements au cours du temps (chronopsychologie) dans le domaine scolaire ont permis de montrer une fluctuation de l'efficacité intellectuelle et de l'attention au cours d'une journée (Testu, 1993 ; Testu et Baille, 1983 ; Leconte et Lambert, 1994 ; Janvier et Testu, 2005). Les résultats de ces études rapportent un profil d'attention et d'efficacité intellectuelle évoluant au fil de la journée selon ces cycles :

- Les performances s'élèvent du début jusqu'à la fin de la matinée
- Les performances chutent au moment de la pause déjeuner
- Les performances progressent au cours de l'après-midi pour les sujets les plus âgés (10-11 ans)

Plus précisément, certaines études (Testu et Baille, 1983 ; Testu, 1993) évaluant la fluctuation de l'activité intellectuelle de 48 élèves âgés de 10 à 11 ans au cours d'une journée de classe, rapportent les résultats suivant :

- Une fluctuation quantitative : les performances sont minimales durant la première heure de classe (8-9h) puis s'élèvent jusqu'à la fin de matinée (avec un pic entre 11h et 12h). Après le déjeuner les performances s'abaissent puis s'élèvent plus ou moins selon l'âge, au cours de l'après-midi. La baisse des performances après le déjeuner

n'est pas en lien avec la digestion. Des études menées dans des pays européens où les rythmes alimentaires ne sont pas les mêmes, rapportent elles aussi une chute des performances (Testu, 2000).

- Une fluctuation qualitative : la perception des stratégies à appliquer, pour résoudre un problème multiplicatif, fluctue au cours de la journée. L'élève perçoit mieux la stratégie à 11h20 ou à 16h20 qu'à 8h20 ou 13h40.

Considérant l'attention et la mémoire, Leconte-Lambert (1994) rapporte les données suivantes :

- Augmentation de l'efficiences attentionnelle au cours de la matinée, avec un pic en fin de matinée et une reprise en milieu d'après-midi avec un plateau en fin d'après-midi. Cela correspond au profil « classique » de la vigilance chez le grand enfant et l'adulte.
- Meilleure performance en mémoire à court terme le matin et une meilleure performance en mémoire à long terme l'après-midi. A propos du profil mnésique, l'auteur fait l'hypothèse que les meilleures performances en mémoire à court terme le matin seraient en lien avec un meilleur niveau attentionnel ; l'amélioration des performances en mémoire à long terme serait quant à elle due à la mise en place de stratégies différentes d'encodage, stratégies plus efficaces l'après-midi que le matin.

En 1991, Leconte-Lambert s'est intéressée aux rythmicités de l'efficiences attentionnelle auprès d'enfants âgés de 3 à 5 ans. L'étude menée rapporte une influence de la fatigue de la semaine, avec de meilleures performances le lundi que le vendredi. Plus précisément, l'épreuve d'attention visuelle est mieux réussie le matin que l'après-midi, quel que soit le jour. A l'inverse, l'épreuve d'attention auditive, est mieux réussie l'après-midi.

Ponce et Alcorta (2011) se sont intéressées à la fluctuation attentionnelle entre la maternelle et le primaire. Pour cela, elles ont suivi 68 enfants en grande section de maternelle (GSM) puis lors de leur année de cours préparatoire (CP). Une épreuve de barrage papier-crayon leur a été proposée à quatre moments de la journée, en GSM et l'année suivante. Les auteurs obtiennent trois profils différents :

- Le profil « classique »
- Le profil « plat avec attention élevée » (profil presque plat jusqu'en début d'après-midi puis remontée significative des performances en fin d'après-midi)
- Le profil « plat » (aucune différence significative selon les heures de passation et niveau attentionnel bas).

Les résultats de leur étude indiquent que les enfants de GSM qui avaient le niveau attentionnel le plus élevé adopteront un profil « classique » ou « plat avec une attention élevée » en CP. Aucun d'entre eux ne diminue son profil attentionnel ni ne l'inverse. Les élèves qui avaient un profil « plat » en GSM se répartissent dans les trois types de profils possibles l'année suivante, sans possibilité de prédire à quel groupe de profil ils appartiendront.

Les fluctuations nyctémérales des symptômes du TDA/H ont été observées par Dane, Schachar et Tannock (2000), lors d'évaluations cliniques au cours d'une journée (évaluation psychométrique le matin, évaluation orthophonique l'après-midi). Il en ressort que seul l'après-midi des différences significatives entre TDA/H et sujets contrôles ont été mises en évidence, les TDA/H étant plus actifs que les contrôles.

- Fluctuation selon la condition de passation

Dans une situation de face à face, la standardisation n'est jamais totale. Toute une série de facteurs caractérisant l'examineur (âge, sexe, origine ethnique, couleur de peau, apparence physique, traits de personnalité...) peuvent avoir une influence sur l'efficacité du sujet passant le test. Ces effets sont surtout marqués avec les enfants (Sattler et Theye, 1967). De même, les attentes de l'examineur ont une influence sur les performances : si les attentes sont positives, il arrive que le sujet améliore un peu ses résultats (Huteau et Lautrey, 2003).

En 1958, Lorge, Fox, Davitz et Brenner constatent dans leur étude que les performances réalisées en groupe sont supérieures à celles obtenues individuellement. En 1983, Bond et Titus font une synthèse des études portant sur l'influence d'autrui sur les performances, il en ressort que la présence d'autrui :

- Provoque une élévation de l'activité lorsque les sujets exécutent une tâche complexe
- Elève la vitesse d'exécution d'une tâche simple mais la freine pour une tâche complexe
- Diminue l'exactitude d'une performance lors de la réalisation d'une tâche complexe

Testu, Alaphilippe, Chasseigne et Chez (1995) ont étudié les variations journalières de l'activité intellectuelle des enfants selon les conditions de passation d'épreuves, dans le cadre scolaire. Il en ressort que le mode de passation, individuel ou collectif, influe sur les performances et sur les variations journalières. Cette double influence ne serait pas la même selon le degré de difficulté de la tâche :

- Lors de la réalisation d'une tâche simple, peu coûteuse cognitivement, la présence des autres créerait une émulation et améliorerait les performances
- Lors de la réalisation d'une tâche complexe, coûteuse cognitivement, le traitement de l'information se fait de manière plus contrôlée. La présence d'autrui diminuerait alors les performances, le traitement de l'information étant alors plus perméable aux facteurs perturbateurs de l'environnement.

De plus, les résultats de cette étude indiquent que :

- lors des passations collectives les fluctuations des performances sont conformes au profil classique des variations journalières. Pour la tâche complexe, les performances fluctuent au cours de la journée, alors que pour les tâches simples, les scores seraient indépendants et varieraient peu
- lors des passations individuelles : ce sont principalement les performances à la tâche complexe qui diffèrent selon le moment de la journée, avec une inversion du profil classique. L'auteur évoque un facteur psychosociologique : l'attente du jugement, la présence de l'examineur impliquant un jugement individuel.

- Impact des paramètres de la tâche

La littérature est abondante quant à l'impact des variations paramétriques d'une tâche d'attention soutenue sur les performances chez l'adulte, mais pas chez l'enfant. Il a été montré chez l'adulte que les instructions, le feed back, la durée de la tâche et sa complexité, le nombre de stimuli présentés et l'intervalle de temps entre les stimuli ont une influence sur les performances (Ballard, 1996).

3.2 Variables chez l'enfant TDA/H

Wodka et al. (2007), expliquent que si le déficit d'inhibition des réponses est le déficit primaire chez les enfants TDA/H, il faut s'attendre à ce que ces enfants aient des déficits comportementaux dans une variété de situations (ex : à l'école, à la maison, dans les jeux...). De plus, comme les comportements d'impulsivité, d'hyperactivité et d'inattention ont été identifiés comme étant associés à des déficits dans l'inhibition des réponses, il est important que les parents, les enseignants, les éducateurs, comprennent que les enfants TDA/H auront plus de difficultés dans les situations de tous les jours qui requièrent l'inhibition de réponses directes, même si la charge en mémoire de travail est allégée ou lorsque des techniques motivationnelles sont utilisées.

- Fluctuation de l'expression clinique du TDA/H en fonction du contexte

En 1981, Sleator et Ullmann rapportent que le comportement d'un jeune patient TDA/H dans le cadre clinique n'est pas le reflet de son comportement habituel, et que son histoire est l'outil principal pour poser un diagnostic. Ils précisent que sur 290 enfants rencontrés pour une suspicion de TDA/H, 220 n'étaient pas « cliniquement hyperactifs » et 70 étaient de « vrais hyperactifs ». L'effet de la nouveauté de l'environnement dans l'expression clinique du symptôme d'hyperactivité a été mis en évidence par Zentall (1985). Ce dernier a montré que l'instabilité motrice diminue dans les environnements nouveaux et augmente avec le degré de familiarité. Dans le bureau médical, le comportement de l'enfant hyperactif n'est pas représentatif. En effet, une légère appréhension ou une anxiété liée à la situation ou au lieu sont capables d'inhiber temporairement certains enfants. Même lors de situation d'évaluations approfondies, l'instabilité motrice et les difficultés attentionnelles peuvent être minimales ou manquer totalement, les tests d'attention seront alors parfaitement réussis (Thomas et Willems, 2001).

Les examens neuropsychologiques ou orthophoniques se font généralement en relation duelle dans un environnement calme, sans distracteurs. De plus, lors de l'évaluation, l'enfant est l'unique objet d'attention de l'examineur. Ces conditions sont donc artificielles et ne reflètent en rien ce que l'enfant expérimente au sein de sa classe. Certains enfants TDA/H ont des capacités de contrôle et d'attention normales dans un environnement optimal ou non familial (Purper-Ouakil et al, 2004).

- Motivation et renforcement dans le TDA/H

Le modèle théorique de Barkley (1997) est orienté vers les fonctions exécutives. Selon ce modèle, le déficit primaire du TDA/H est un déficit d'inhibition de la réponse qui provoque une perte d'efficacité de quatre fonctions exécutives dont l'autorégulation des affects. Cette dernière comprend la régulation de la motivation, des émotions et des pulsions. En 2000, Konrad, Gauggel, Manz et Schöll ont mené une étude visant à étudier l'influence de la récompense lors d'une tâche de stop signal, auprès d'enfants TDA/H et traumatisés crâniens. Leurs résultats indiquent que le déficit d'inhibition peut être réduit (dans ce cas les performances sont similaires à celles des sujets contrôles) grâce à la motivation (engendrée par le renforcement positif immédiat) chez les enfants avec TDA/H. Les performances des enfants traumatisés crâniens ont aussi bénéficié de la condition avec renforcement, mais les résultats ne sont pas normalisés. Ces résultats concordent avec l'étude de Sagvolden et Sergeant (1998) qui suggère une hypo-efficience du système dopaminergique chez les enfants TDA/H, entraînant des dérèglements neurochimiques à l'origine des problèmes comportementaux : le déficit d'attention soutenue, l'hyperactivité et l'impulsivité.

Le renforcement doit être proche dans le temps de la réponse pour être efficace et être fréquent puisque l'effet rétroactif du renforcement est plus bref chez les TDA/H ; ces résultats expliquent aussi le déficit d'attention soutenue qui serait lié au fait que les stimuli sont peu fréquents (Sagvolden, Aase, Zeiner et Berger, 1998).

Dans la pratique clinique, les parents d'enfants TDA/H rapportent que leurs enfants peuvent s'engager durant de longues périodes à jouer aux jeux vidéo alors qu'ils n'arrivent pas à maintenir le même engagement pour d'autres activités de loisirs (Bioulac, 2011).

En considérant que l'utilisation de jeux vidéo fait appel à diverses fonctions cognitives, Lawrence, Houghton et al. (2002) ont réalisé une étude en comparant les performances d'enfants sujets TDA/H lors de jeu vidéo et lors d'une situation naturelle. Les résultats dans la situation de jeu vidéo n'indiquent pas de déficit sur les comportements d'inhibition, en revanche dans la situation naturelle, les résultats rapportent des difficultés sur le comportement d'inhibition. Les auteurs suggèrent que le déficit d'inhibition pourrait être fluctuant et ne s'exprimerait alors que sous certaines conditions ou selon certaines conditions.

En 2005, Shaw a mené une étude destinée à comparer les capacités d'inhibition d'enfants TDA/H, dans une situation de jeu vidéo, dans une situation clinique standard en utilisant le CPT (Continuous Performance Test, test informatisé d'attention soutenue) et dans une situation

clinique standard mais en utilisant une version modifiée du CPT(les cibles classiques (lettres) ont été remplacées par des illustrations du dessin animé Pokemon). Différentes études utilisant le CPT auprès d'enfant TDA/H et d'enfants témoins rapportent des performances déficitaires des sujets TDA/H comparées aux contrôles, avec un plus grand nombre d'erreurs et d'omissions (Barkley, Grodzinsky et DuPaul, 1992 ; Riccio, Reynolds, Lowe, 2001 ; Epstein, Erkanli, Conners, Klaric, Costello et al., 2003). Les résultats de l'étude de Shaw sont intéressants puisqu'ils indiquent que :

- Dans la situation de jeu vidéo, les sujets TDA/H ont des performances identiques à celles des sujets contrôles
- Dans la situation du CPT « classique » et du CPT « «modifié », les sujets contrôles obtiennent les mêmes performances, alors que les sujets TDA/H manifestent moins de réponses impulsives au CPT « modifié ».
- Dans la situation du CPT « modifié », les sujets TDA/H obtiennent des performances comparables à celles des contrôles.

Nous pouvons donc en déduire que certaines variables influencent les performances chez les TDA/H. Le mode de présentation ludique améliorant leurs performances, ce qui n'est pas retrouvé chez les sujets contrôles. Concernant les meilleures performances obtenues par les TDA/H, à la situation jeu vidéo comparée au CPT classique, il faut rappeler que le jeu vidéo renvoie un « feedback » immédiat et un renforcement (positif ou négatif) après chaque réponse, ce qui n'est pas le cas dans la situation classique d'évaluation (Bioulac, 2011).

Il est important de rappeler que plusieurs études ont montré que la présentation d'un renforcement immédiatement après une réponse a plus d'effet chez les enfants TDA/H que chez les contrôles (Sagvolden, 1996; Sagvolden, Aase et al., 1998). Enfin, les approches thérapeutiques basées sur un système de renforcement positif ont montré leur efficacité sur le comportement à l'école et en vie quotidienne des enfants TDA/H (Wells, Epstein, Hinshaw, Conners, Klarik et al., 2000).

Lorsqu'une performance cognitive est demandée à un sujet TDA/H celui-ci doit être stimulé le plus possible afin de recruter des ressources attentionnelles. D'ailleurs, Slusarek et al. (2001) pensent que l'intérêt, la demande d'effort ainsi que la motivation influencent les performances des sujets TDA/H. En 1999, Brown rapportait déjà de meilleures performances de sujets TDA/H dans certaines situations, telles que leurs activités favorites. Selon Brown,

les difficultés centrales du TDA/H seraient l'incapacité des sujets à mobiliser leurs fonctions exécutives lors de situations peu motivantes.

Alors que beaucoup d'études se sont attachées à évaluer les performances cognitives de sujets TDA/H dans ses situations de tests standardisés, peu d'études ont exploré leurs performances en situation de vie quotidienne.

METHODOLOGIE

1 Objectifs de l'étude

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'influence des modalités d'évaluation sur les performances attentionnelles et de lecture des enfants TDA/H. L'autre objectif de notre étude est d'étudier le lien potentiel entre attention, fonctions exécutives et lecture.

Pour cela, nous avons proposé à une population d'enfants diagnostiqués TDA/H un protocole d'évaluation de l'attention, des fonctions exécutives et de la lecture en faisant varier les modalités d'évaluation. Nous avons déterminé trois modalités d'évaluation différentes : naturelle, expérimentale et virtuelle. La modalité naturelle suppose une observation de l'enfant dans les milieux qu'il côtoie au quotidien (domicile, école), la modalité expérimentale correspond à la situation duelle avec un thérapeute qui utilise des tests (papier-crayon ou informatisé), et la modalité virtuelle correspond à l'utilisation d'un visiocasque permettant l'immersion de l'enfant dans un environnement 3D sans interaction avec un adulte « réel ».

2 Présentation de la population

2.1 Présentation générale

Nous avons rencontré des enfants présentant un TDA/H au Centre de Consultations Spécialisées de l'Hôpital Charles Perrens de Bordeaux, dans le service universitaire de psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent du Professeur Bouvard.

2.2 Critères d'inclusion

2.2.1 Le diagnostic

Les enfants recrutés pour cette étude ont reçu le diagnostic de TDA/H de type mixte ou de type attentionnel par un pédopsychiatre du Centre de Consultations Spécialisées, ils présentaient donc tous un trouble de l'attention. Le diagnostic a été posé selon les critères du DSM IV, à l'aide des indices de l'échelle de Conners.

2.2.2 L'âge

Les enfants inclus dans notre étude sont âgés de 8 à 10 ans. Nous avons choisi une tranche d'âge restreinte en raison des aspects de maturation développementale des fonctions exécutives.

2.2.3 La scolarité

L'apprentissage de la lecture se faisant jusqu'au CE2, les enfants que nous avons rencontrés sont scolarisés en milieu ordinaire du CE2 au CM2. Les enfants scolarisés en CE1 n'ont pas été recrutés en raison de l'hétérogénéité des niveaux de lecture dans une période inférieure à deux ans d'apprentissage.

2.2.4 Le sexe

Nous avons recruté des enfants de sexe féminin et masculin sans opérer de distinction.

2.2.5 L'examen psychométrique

Les enfants recrutés devaient obtenir un quotient intellectuel total (QIT) au WISC IV supérieur à 70.

2.2.6 Le consentement parental

Le protocole de notre bilan a été expliqué oralement lors d'un entretien téléphonique aux parents, puis repris à l'écrit dans un courrier de consentement. Chaque parent a signé une attestation témoignant de leur consentement avant le début de chaque protocole (cf annexes).

2.3 Critères d'exclusion

2.3.1 Le retard mental

Pour exclure le retard mental, nous nous sommes reportés aux résultats du bilan psychométrique, réalisé préalablement soit en cabinet libéral, soit par la neuropsychologue du service, avec le WISC IV.

2.3.2 Les troubles sensoriels

Les enfants inclus dans notre étude devaient être indemnes de toute atteinte sensorielle (visuelle ou auditive). Ces troubles ont pu être écartés grâce à la consultation des dossiers médicaux.

2.3.3 Les troubles psychiatriques

Les troubles psychiatriques pouvant entraîner une altération des ressources attentionnelles (autisme, dépression...), les enfants présentant une comorbidité psychiatrique ont été exclus de cette étude (outils d'évaluation : CBCL et Mini-kid 2)

2.3.4 Les troubles spécifiques du langage écrit

Les enfants présentant un trouble spécifique du langage écrit de type dyslexie, altérant le niveau de lecture, ont été exclus de l'étude.

2.3.5 Le redoublement scolaire

Les enfants ayant redoublé une classe lors de leur cursus scolaire, ce qui entraînerait une trop grande hétérogénéité des niveaux de lecture et du niveau de maturation développementale des fonctions exécutives, ont été exclus de cette étude.

2.3.6 Le traitement médicamenteux

Les enfants sous traitement par psychostimulant (métylphénidate) ont été exclus de cette étude. Nous avons souhaité inclure des enfants naïfs de tout traitement pour éviter toute interférence du traitement.

3 Présentation des outils utilisés

3.1 Protocole d'évaluation

3.1.1 Présentation générale

Le protocole d'évaluation et le cadre ont été les mêmes pour tous les enfants rencontrés. Chaque protocole a débuté par un entretien avec les parents et l'enfant, au cours duquel nous présentions le protocole. Durant l'entretien nous avons remis aux parents le questionnaire BRIEF version Parents (Gioia, Isquith, Guy, Kenworthy, 2000) ainsi qu'une enveloppe contenant des questionnaires à destination de l'enseignant : le questionnaire BRIEF (Behavior Rating Inventory of Executive Function) version enseignant (Gioia et al., 2000), l'échelle Swanson, Kotkin, Agler, M-Flynn, and Pelham (SKAMP ; Swanson, 1992) et une échelle fabriquée par nos soins, évaluant le niveau de lecture. Chaque protocole s'est déroulé dans le même lieu, un bureau sans distracteurs, un coin du bureau ayant été aménagé pour l'évaluation en réalité virtuelle. Une seule examinatrice a administré le protocole d'évaluation. Chaque passation durait en moyenne soixante minutes. Pour neutraliser l'effet

d'ordre des épreuves, nous avons pris la précaution de contrebalancer l'ordre de passation des épreuves. L'ordre des items à l'intérieur de chaque épreuve a été maintenu constant.

Protocole A	Protocole B	Protocole C
Lecture d'une minute (BALE)	Classe virtuelle	KITAP
Classe virtuelle (Rizzo)	KITAP	Lecture d'une minute
KITAP (Zimmerman)	Lecture d'une minute	Classe virtuelle

3.1.2 Données cliniques

Nous avons consulté le dossier médical de chaque enfant afin de récolter les données cliniques nécessaires : données administratives (âge, niveau scolaire) et données cliniques (TDA/H diagnostiqué, troubles associés, QIT,...). Par ailleurs nous avons recueilli et utilisé dans cette étude les différents indices obtenus, pour chaque enfant, au WISC IV.

3.1.3 Evaluation du niveau de lecture : la B.A.L.E.

La batterie analytique du langage écrit (BALE) a été mise au point par Jacquier- Roux, Lequette, Pouget, Valdois et Zorman en 2010. Elle permet une analyse fine et précise des troubles du langage écrit. Son étalonnage date de l'année scolaire 1999-2000. Nous avons utilisé dans notre étude la lecture de texte (le Géant égoïste). Nous avons choisi ce test car son étalonnage est récent, qu'il a été établi auprès d'un échantillon représentatif de 169 enfants scolarisés du CE1 au CM2. Une des caractéristiques de l'étalonnage est que les scores peuvent être rapportés en fonction de la période de l'année à laquelle ils ont été obtenus. L'enfant doit lire le texte le mieux possible et cela jusqu'à ce qu'on lui dise « stop », c'est-à-dire au bout d'une minute. Les mots mal lus ou omis seront comptabilisés en nombre d'erreurs. Le score de l'enfant est obtenu en déduisant le nombre d'erreurs au nombre total de mots lus pour obtenir le nombre de mots correctement lus par minute.

3.1.4 Evaluation des processus attentionnels : KITAP

La batterie KITAP a été conçue en 2002 par Zimmerman, Gondan et Fimm afin de permettre l'évaluation des processus attentionnels chez l'enfant avec un programme informatisé. Le KITAP est une version adaptée à l'enfant du Test d'Evaluation de l'Attention destiné à l'adulte. L'étalonnage a été réalisé auprès d'une population de 197 enfants âgés de 6 à 7 ans et de 336 enfants âgés de 8 à 10 ans. Comparativement à la version pour adulte, l'étendue de la version pour enfant a été réduite en se référant aux épreuves les plus pertinentes en termes de

pratique clinique. Suite à une analyse factorielle, les épreuves sélectionnées ont été l'attention divisée, l'alerte phasique, le balayage visuel, la flexibilité et le go/nogo. Pour compléter la batterie, une épreuve de vigilance, d'attention soutenue et une épreuve de distractibilité ont été ajoutées, ces deux derniers aspects tant les plus cruciaux lors de la situation scolaire entre autres. La caractéristique de cette batterie informatisée est le caractère ludique des différentes épreuves (les stimuli sont des fantômes, chat, chauve-souris...) ce qui permet de susciter l'intérêt de l'enfant et son engagement dans les tâches. Dans notre étude nous avons sélectionné les épreuves attentionnelles qui pouvaient être corrélées à la classe virtuelle. C'est pourquoi nous avons retenus les épreuves de go/nogo, de distractibilité et d'attention soutenue. L'évaluation de l'attention que nous proposons s'intéresse aux deux axes repris dans le modèle de Van Zomeren et Brouwer de 1994 :

- L'axe de l'intensité avec l'épreuve d'attention soutenue
- L'axe de la sélectivité avec les épreuves de go/nogo et de distractibilité.

Nous décrirons ci-dessous ces épreuves issues du KITAP.

- L'inhibition (épreuve de go/nogo) : « la chauve-souris »

Cette tâche de 2,5 minutes, consiste à appuyer le plus rapidement possible quand la chauve-souris apparaît à l'écran, et à ne pas appuyer quand c'est le chat qui apparaît. C'est la capacité de contrôle et de décision qui est évaluée durant cette épreuve. En effet, l'enfant doit réagir le plus vite possible à l'un des deux types de stimuli auxquels il est soumis, et s'abstenir de réagir à l'autre type. La capacité d'inhibition est donc mise en jeu lorsqu'il est exposé à un stimulus distracteur (non cible).

L'analyse des résultats s'intéresse au nombre d'omissions et de réactions erronées, ainsi qu'au temps de réaction. Un nombre élevé d'omissions et / ou un allongement des temps de réaction serait révélateur d'un ralentissement de la capacité à prendre une décision. Un nombre important de réactions erronées serait le reflet d'un manque voire d'un déficit d'inhibition aux réactions impulsives.

- La distractibilité : « le fantôme triste et le fantôme joyeux »

Cette tâche est proposée sur le modèle d'une épreuve de type go/nogo, il s'agit de réagir à un stimulus visuel qui la moitié du temps est présenté simultanément à des distracteurs. L'épreuve dure 3 minutes. La tâche de distractibilité a été conçue de manière à ce qu'une

saccade oculaire soit possible entre l'apparition du distracteur et celle du stimulus central, ce qui permet à l'enfant de savoir si le stimulus est une cible ou non. Néanmoins, la cible reste affichée 200 ms de telle manière à ce qu'elle ait disparu avant que l'enfant ne puisse la fixer à nouveau. C'est à ce moment que le regard, attiré par un distracteur, changera d'orientation ce qui provoquera des erreurs ou des omissions.

Les résultats présentent la moyenne, la médiane ainsi que l'écart-type des temps de réaction, le nombre de réactions erronées et le nombre d'omissions. Ces résultats sont présentés de façon à ce qu'on puisse distinguer les performances de l'enfant en fonction de la présence de distracteurs ou non. Le facteur le plus pertinent lors de l'analyse des résultats est le nombre d'omissions réalisées avec et sans stimuli distracteurs. Ainsi, un nombre plus important d'omissions dans la condition avec distracteurs comparativement à la situation sans distracteurs sera le signe manifeste d'une forte distractibilité.

- L'attention soutenue : « la danse des fantômes »

Cette épreuve propose des stimuli qui varient en termes de couleur, de position et d'attitude. Le patient doit réagir lorsque deux stimuli identiques (soit dans la position, soit dans la couleur) apparaissent l'un après l'autre. Les stimuli à comparer sont des fantômes de couleurs différentes qui apparaissent aux fenêtres d'un château. La tâche sollicite la flexibilité (alternance entre les 2 contraintes), la mémoire à court terme (conserver la description et la position de l'item précédent) et l'attention divisée. L'épreuve dure 10 minutes.

Les résultats reprennent la moyenne, la médiane et l'écart-type des temps de réaction ainsi que le nombre d'omissions et de réactions erronées. Ces résultats sont repris pour les 5 premières minutes de l'épreuve, pour les 5 dernières minutes de l'épreuve et pour l'ensemble de l'épreuve. Concernant l'analyse des résultats, le critère le plus pertinent concerne le nombre d'omission car toute baisse d'attention engendrera l'omission d'un ou plusieurs stimuli.

3.1.5 Evaluation des processus attentionnels : la classe virtuelle

La classe virtuelle a été développée à l'origine par Rizzo, Buckwalter, Bowerly, Van Der Zaag, Humphrey et al. (2000) en collaboration avec Digital Media Works et modifiée en 2006. La classe virtuelle fonctionne avec un visiocasque (de type Head Mounted Display, HMD). Elle a été mise au point pour évaluer les processus attentionnels. Grâce à ce système,

il est possible de proposer un environnement, avec des distracteurs auditifs et visuels, dans lequel une tâche attentionnelle est à réaliser.

- L'environnement de la classe virtuelle

La classe comprend trois rangées de bureaux d'élèves, le bureau de la maîtresse face à la classe, un tableau vert derrière le bureau de la maîtresse et une maîtresse virtuelle se tenant soit devant son bureau soit devant le tableau. Sur le mur gauche, une large fenêtre laisse apparaître la cour de récréation, des immeubles et des voitures. Le mur droit possède deux portes par lesquelles entre et sort un homme virtuel (le directeur de l'école).

Lorsque l'enfant est équipé du visiocasque, il se retrouve assis à un bureau virtuel au sein de la classe virtuelle, parmi d'autres enfants virtuels assis à leur bureau.

- Procédure

L'enfant porte le visiocasque sur la tête ainsi qu'un casque audio. Nous avons ajouté sur les côtés du visiocasque des bandelettes de tissu noir afin d'assurer le noir total ce qui participe à une meilleure immersion. De même nous avons fait le choix d'un casque audio sans fil pour la diffusion sonore, ainsi l'enfant ne perçoit que les sons de la classe virtuelle. L'enfant est assis à une table sur laquelle rien n'est disposé mis à part la souris qui permet à l'enfant de répondre. Nous avons ajouté sur le clic gauche de la souris un marqueur tactile pour éviter toute confusion entre les deux clics de la souris. L'examineur est assis loin de l'enfant mais garde un retour contrôle de ce que l'enfant perçoit grâce à l'écran d'ordinateur.

- Une tâche d'attention

La maîtresse virtuelle donne la consigne de la tâche à réaliser. Des lettres vont apparaître successivement au tableau, l'enfant doit cliquer le plus vite possible sur le clic gauche de la souris lorsqu'il voit apparaître un « K » précédé de la lettre « A ». Pendant qu'il exécute cette tâche, des distracteurs naturels à l'environnement de la classe viennent perturber la concentration de l'enfant. Les distracteurs peuvent être de type auditif (haut parleur diffusant un message, sonnerie d'école), de type visuel (un avion en papier vole dans la classe, un élève lève le doigt) et de type auditivo-visuel (le car que l'on entend et voit passer par la fenêtre, le bruit des pas de la maîtresse). Les performances de l'enfant sont mesurées en termes de temps de réaction et de type d'erreurs (erreurs inattentives, erreurs impulsives et omissions). Les résultats sont présentés pour l'ensemble de l'épreuve mais aussi pour chaque bloc de 100 stimuli (soit 5 blocs au total) ce qui permet d'apprécier les résultats au fil du temps. La tâche

durant 10 minutes et étant relativement monotone, elle est considérée comme une tâche d'attention soutenue.



L'environnement de la classe virtuelle (©Digital Mediawork)

3.1.6 Evaluation de la tolérance à l'immersion en réalité virtuelle : l'échelle « cybersickness »

Suite à l'immersion en réalité virtuelle, nous avons récolté avec une échelle « cybersickness », les ressentis corporels des enfants (cf. annexes). L'examineur propose à l'enfant différents types de sensations qu'il a pu ressentir pendant l'immersion en réalité virtuelle. La cotation de chaque item étant : signe absent, signe présent mais léger, signe modérément présent, signe sévèrement présent, signe très sévèrement présent.

3.1.7 Evaluation de l'attention en milieu scolaire : SKAMP (Swanson, 1992)

La SKAMP (Swanson, 1992) est une échelle comprenant dix items (cf. annexes). Elle a été conçue pour évaluer les troubles du fonctionnement de l'enfant en situation de classe. L'enseignant cote la sévérité de 10 comportements (6 premiers items correspondent à l'évaluation de l'attention, les 4 derniers items correspondent au comportement) selon 4 degrés : pas du tout (coté 0), un peu (coté 1), souvent (coté 2), très souvent (coté 3). Un score de dégradation est donc obtenu.

3.1.8 Evaluation de la lecture et des acquis en milieu scolaire

Dans le cadre de notre recherche, nous avons créé une échelle visant à évaluer le niveau des acquisitions scolaires et la qualité de la lecture. L'enseignant répond à ces 2 questions en situant son élève par rapport au niveau des autres élèves de la classe. L'enseignant pouvait situer l'enfant dans le tiers inférieur, moyen ou supérieur.

Cotation : le tiers inférieur est coté 1, le tiers moyen est coté 2, le tiers supérieur est coté 3.

3.1.9 Evaluation du fonctionnement exécutif : BRIEF

Le BRIEF (Behavior Rating Inventory of Executive Function) est un hétéro-questionnaire comportant 86 items répartis en 8 échelles. Cet outil est destiné à mesurer l'ensemble des manifestations comportementales qu'engendrent les troubles exécutifs chez l'enfant (5 ans – 18 ans). La version française du BRIEF est en cours de validation, nous avons donc utilisé une adaptation française (Roy, Roulin, Le Gall et Fournet) de l'épreuve originale de Gioia et al. (2000)

Il existe une version pour les parents et une version pour l'enseignant. Chaque item peut être coté 1, 2 ou 3 selon le degré d'occurrence du trouble (respectivement : « jamais », « parfois », « souvent »). Par conséquent, les scores obtenus sont des scores de dégradation, plus le score est élevé plus le dysfonctionnement exécutif est sévère.

Les 8 échelles mesurent différents aspects des fonctions exécutives : Inhibition, flexibilité mentale, contrôle émotionnel, initiative, mémoire de travail, planification/structuration, organisation matérielle, et contrôle.

- **L'inhibition:** c'est la capacité à résister ou à ne pas agir avec impulsivité (arrêt du comportement au moment approprié). L'échelle d'inhibition peut être un élément diagnostique utile dans le TDA/H.
- **La flexibilité:** c'est la capacité à passer d'une situation, d'une activité à une autre en fonction des besoins de la situation.
- **Le contrôle émotionnel:** c'est la capacité à adapter ses réponses émotionnelles. Le déficit de contrôle émotionnel se manifeste par une labilité émotionnelle ou par des expressions émotionnelles explosives.
- **L'initiation :** c'est la capacité à débiter une activité, à proposer des réponses, et des stratégies pour la résolution de problèmes. Le déficit d'initiation se marque par une incapacité à initier une tâche sans l'aide d'un adulte.
- **La mémoire de travail:** c'est la capacité à maintenir une information en mémoire pour réaliser une tâche. La mémoire de travail est mise en jeu lors de calculs mentaux ou pour réaliser une consigne complexe par exemple.
- **La planification / la structuration :** c'est la capacité d'identification et d'organisation des diverses étapes nécessaires pour mener à bien une action.
- **Organisation de matériel :** Capacité à garder son travail, ses jeux et ses espaces de rangement (bureau, cartable, chambre) propres et bien rangés.
- **Le contrôle :** Capacité à contrôler, à vérifier son travail et son comportement pendant et après la tâche afin de s'assurer que le but est atteint.

De plus, deux échelles d'appréciation de la validité peuvent être obtenues :

- Une échelle d'inconsistance indiquant dans quelle mesure les réponses à des items appréciant des aspects très proches sont contradictoires par rapport à l'échantillon normal.
- Une échelle de négativité indiquant dans quelle mesure les réponses à des items sélectionnés sont le reflet d'une perception négative excessive du comportement ou un dysfonctionnement exécutif important.

4 Analyse des résultats

Afin d'analyser les résultats que chaque sujet a obtenu dans les différentes modalités d'évaluation, nous avons eu recours à plusieurs tests statistiques :

- Le test paramétrique de comparaison T de Student
- Le test de corrélation en r de Pearson
- L'analyse en composante principale.

Pour obtenir une meilleure description des performances de notre groupe TDA/H, nous avons utilisé les données d'un groupe contrôle sain. Ce groupe a été constitué dans le cadre d'une recherche mémoire de Master 2 en sciences cognitives, Université Victor Segalen-Bordeaux 2) menée par N. Piat dans le service de consultations spécialisées de Charles Perrens, pendant l'année 2012.

Nous présenterons également dans les tableaux suivants, les performances en lecture de notre groupe TDA/H en les comparant aux scores moyens obtenus par la population de validation de l'outil concerné. En ce qui concerne les performances exécutives, nous avons utilisé les données de la population saine de l'étude de validation française en cours de la BRIEF (Roy, Roulin, Fournet et al., 2012).

PRESENTATION DES RESULTATS

Nous avons inclus dans notre étude 28 enfants présentant un TDA/H de type inattentif ou mixte. Les enfants inclus dans cette étude étaient naïfs de tout traitement médicamenteux de type psychostimulant.

Pour l'ensemble des tableaux, nous considérons les légendes suivantes :

- m : moyenne
- E.T. : écart-type
- T.R. : temps de réaction
- GEC : indice composite exécutif global
- n : nombre d'enfants constituant le groupe
- $p < 0,05$: seuil de significativité
- r : coefficient de corrélation de Pearson
- N.S. : Non Significatif
- modalité expérimentale : évaluation avec examinateur et outil informatisé ou papier-crayon (KITAP, BALE)
- modalité naturelle : évaluation par l'enseignant et les parents en situation quotidienne (SKAMP, BRIEF, questionnaire lecture)
- modalité virtuelle : évaluation en réalité virtuelle (la Classe Virtuelle)

1 Descriptif de la population

Tableau 1 : moyenne d'âge des enfants

	Groupe TDA/H n = 28		Groupe Contrôle n = 15		
	m	E. T.	m	E.T.	P
Age moyen en mois	111	(10,55)	133,60	(22,78)	0,0001
Age minimum – Age maximum (en mois)	(96 - 136)		(101-179)		

Test du Chi 2

La moyenne d'âge du groupe TDA/H est de 9 ans 3 mois, celle du groupe contrôle est de 11 ans. Les deux groupes ne sont pas appariés en âge.

Tableau 2 : Répartition selon le sexe

	Groupe TDA/H n = 28	Groupe Contrôle n = 15	P
Garçons	82,1 %	80 %	
Filles	17,9 %	20 %	0,83

Test du Chi 2

Les deux groupes sont appariés en sexe, avec une plus grosse proportion de garçons dans les deux groupes.

Tableau 3 : Répartition selon le niveau scolaire

	Groupe TDA/H n = 28
CE2	39,3 %
CM1	46,4 %
CM2	14,3 %

Les CE2 et les CM1 sont les deux classes les plus représentées dans notre groupe TDA/H

2 Profil attentionnel, exécutif et de lecture de notre population TDA/H

2.1 Performances des enfants TDA/H à la batterie KITAP

Tableau 4 : Moyenne des scores obtenus par les groupes TDA/H et contrôle aux épreuves de KITAP

Test de T student (p<0,05)		Groupe TDA/H (n = 28)		Groupe contrôle (n=15)		P
		m	E.T.	m	E.T.	
GO-NO GO	T.R. médiane (ms)	499,14	(70,19)	443,93	(54,39)	0,01
	E.T. des T.R. (ms)	113,64	(38,63)	87,67	(25,72)	0,02
	Nombre d'erreurs	2,79	(1,73)	1,33	(1,54)	0,009
DISTRACTIBILITE	T.R. médiane(ms)	547,68	(191,02)	469,33	(84,68)	0,14
	E.T. des T.R. (ms)	287	(309,32)	176,27	(271,16)	0,25
	Nombre d'erreurs	14,11	(9)	8,33	(6,84)	0,03
	Nombre d'omissions	4,86	(5,56)	2,33	(2,99)	0,11
ATTENTION SOUTENUE	T.R. médiane (ms)	850,78	(152,37)	766,80	(114,35)	0,07
	E.T. des T.R. (ms)	281,78	(82,98)	185,53	(49,05)	<0,001
	Nombre d'erreurs	14,19	(16,45)	2,33	(1,99)	0,009
	Nombre d'omissions	14,26	(8,9)	4,87	(4,26)	<0,001

A l'épreuve d'inhibition (Go-No Go) de KITAP, l'ensemble des scores sont significativement différents entre les deux groupes. Les enfants TDA/H sont nettement en difficulté sur ce type d'épreuve comparés aux contrôles. Ils commettent en moyenne plus d'erreurs ($p = 0,009$) et ont un temps de réaction plus long ($p = 0,01$) et plus variable ($p = 0,02$).

Le groupe TDA/H commet plus d'erreurs à l'épreuve de distractibilité que le groupe contrôle. Cette différence est significative ($p = 0,03$)

Le groupe d'enfants TDA/H commet plus d'erreurs et d'omissions durant la tâche d'attention soutenue de KITAP. Cette différence est très significative ($p = 0,009$; $p = 0,001$). La différence entre l'écart-type des T.R. de chacun des groupes est elle aussi très significative ($p = 0,001$). Les enfants TDA/H ont tendance à être plus lents comparés aux contrôles groupes ($p = 0,07$).

2.2 Performances attentionnelles et instabilité motrice des enfants TDA/H à la classe virtuelle

Le visiocasque (système HMD) porté durant la passation de la classe virtuelle, permet d'enregistrer les mouvements de la tête pendant l'immersion. Les valeurs d'amplitude des angles de rotation ont été additionnées

Tableau 5 : moyenne des scores obtenus à la classe virtuelle par les groupes TDA/H et contrôle

		Groupe TDA/H n = 26		Groupe Contrôle n = 15		p
Test de T student ($p < 0,05$)		m	E.T.	m	E.T.	
CLASSE VIRTUELLE	T.R. (ms)	569,58	(111,97)	554,47	(106,29)	0,64
	E.T. du T.R.	227,58	(65,73)	171,60	(57,921)	0,09
	Nombre d'erreurs	20,50	(15,41)	8	(6,71)	0,005
	Nombre d'omissions	36,54	(21,97)	14,47	(12,37)	0,01
	Nombre d'erreurs impulsives	12,5	(7,75)	6,27	(5,68)	0,01
	Mouvements de la tête	15,30	(8,09)	18,25	(10,15)	0,30

Il apparaît une différence significative entre les deux groupes concernant le nombre d'erreurs ($p=0,005$), d'omissions ($p=0,01$) et le nombre d'erreurs impulsives ($0,01$). Les deux groupes ont un T.R. moyen très proche qui ne permet pas de les différencier. Toutefois, l'écart-type moyen des T.R. tend à différencier les deux groupes ($p=0,09$). L'instabilité motrice ne permet pas de différencier les deux groupes, l'échantillon contrôle obtient même un score plus élevé que l'échantillon TDA/H.

2.3 Profil attentionnel du groupe TDA/H évalué avec la SKAMP

Tableau 6 : moyennes des scores obtenus aux sous-échelles de la SKAMP

	Groupe TDA/H (n=18)	
	M	E.T.
SKAMP échelle d'inattention	8,3	3,6
SKAMP échelle comportementale	4,28	3,5

Nous n'avons pas de données normées afin de comparer les résultats de notre groupe TDA/H.

2.4 Profil exécutif des enfants TDA/H

Tableau 7 : moyenne des scores obtenus au questionnaire BRIEF version enseignant

	Groupe TDA/H (n = 17)		Population contrôle BRIEF (validation) (n = 179)	
	M	E.T.	M	E.T.
Score total BRIEF (enseignant)	137,76	(22,62)	105,49	(22,47)

Au questionnaire BRIEF version enseignant, les enfants TDA/H de notre étude obtiennent un score moyen total (score de dégradation) supérieur à celui de la population de validation du BRIEF. Ce score situe notre groupe à + 1, 4 E.T. par rapport à la moyenne des 8-10 ans (seuil pathologique à + 1, 5 E.T.).

Tableau 8 : Moyenne des scores obtenus au questionnaire BRIEF version parents

	TDA/H de notre étude n = 27)		Normes validation BRIEF (n = 271)	
	m	E.T.	m	E.T.
BRIEF Score total (parents)	150,85	(17,04)	111,41	(19,36)

Au questionnaire BRIEF version parents, les enfants TDA/H obtiennent un score moyen total supérieur à celui de la population contrôle, soit un score à + 2 E.T. de la moyenne des 8-10 ans (seuil pathologique à 1, 5 E.T.).

Tableau 9 : répartition de la population selon les scores normés au BRIEF version parents

	score < à 1 E. T.	$1 \leq \text{score} \leq 1,5$	score $\geq 1,5$ E.T. (pathologique)
Nombre de sujets (n = 27)	3	4	20
Pourcentage	11,10%	14,80%	74,10%

Il apparaît que 74,10 % de notre population obtient un Z score significatif d'un dysfonctionnement exécutif à la version parents du questionnaire BRIEF.

Tableau 10 : répartition de la population selon les scores normés obtenus au BRIEF version enseignant.

	score < à 1 E. T.	$1 \leq \text{score} \leq 1,5$	score $\geq 1,5$ E.T. (pathologique)
Nombre de sujets (n = 17)	7	1	9
pourcentage	41,20%	5,90%	52,90%

Il apparaît que 52, 90 % de notre population TDA/H obtient un Z score significatif d'un dysfonctionnement exécutif au questionnaire BRIEF version enseignant.

Dans notre étude, 11 enfants ont été décrits par leurs parents et leur enseignant avec les questionnaires BRIEF. Parmi ces 11 enfants, 8 ont obtenu des scores pathologiques aux versions parents et enseignant. Les 3 enfants restant ont obtenu un score dans la norme à la version enseignant et un score pathologique à la version parents.

2.5 Performances en lecture du groupe TDA/H

Tableau 11 : moyenne des scores obtenus à la lecture de texte de la BALE

	Groupe TDA/H (n = 28)		Normes Validation BALE (n = 393)	
	m	E.T.	m	E.T.
BALE (nombre de mots correctement lus en 1 minute)	91,79	25,8	102,21	17,32

En comparant le nombre moyen de mots lus par le groupe TDA/H et par la population contrôle, il apparaît que les enfants TDA/H de notre étude lisent moins de mots que les contrôles en une minute (- 0, 6 E. T. par rapport aux normes de validation).

Tableau 12 : répartition du groupe TDA/H en fonction du rang obtenu à la BALE

	Effectif (n = 28)	Pourcentage
percentile 5 à 30	11	39,29%
percentile 35 à 95	17	60,71%

Les 11 sujets situés entre le 5^{ème} et le 30^{ème} percentile font partie du sous-groupe que nous appellerons « mauvais lecteurs ». Les 17 sujets restant font partie du sous-groupe que nous appellerons « bons lecteurs ».

Tableau 13 : répartition du groupe TDA/H en fonction du rang obtenu au questionnaire enseignant du niveau de lecture

	Effectif (n = 17)	Pourcentage
tiers inférieur	1	5,90%
tiers moyen	9	52,90%
tiers supérieur	7	41,20%

Le groupe TDA/H se répartit presque équitablement entre bons lecteurs et lecteurs moyens. Nous avons réunis les 10 sujets situés dans les tiers inférieur et moyen pour constituer le groupe « moyen-faible » selon les enseignants ; les sujets situés dans le tiers supérieur constituent le groupe « lecteur fort » selon les enseignants.

3 Performances de notre population TDA/H selon la modalité d'évaluation

3.1 Corrélations entre les performances attentionnelles en modalité virtuelle et les performances attentionnelles en modalité expérimentale

Tableau 14 : Corrélations entre les performances à la classe virtuelle et les performances au KITAP

		MODALITE EXPERIMENTALE					
		KITAP Inhibition (erreurs) (n = 28)		KITAP Attention soutenue (erreurs + omissions) (n = 27)		KITAP Distractibilité (erreurs + omissions) (n = 28)	
		r	p	r	p	r	p
MODALITE VIRTUELLE (n = 26)	Classe virtuelle (erreurs + omissions)	0,33	0,09	0,18	0,37	0,41	0,04
	Classe virtuelle (erreurs impulsives)	-0,05	0,87	N.S		N.S.	

Test de corrélation de Bravais-Pearson ($p \leq 0,05$)

Dans notre population TDA/H, il existe une corrélation positive entre le nombre d'erreurs et d'omissions commis à la classe virtuelle et le nombre d'omissions et d'erreurs commises à l'épreuve de distractibilité de KITAP ($p = 0,04$). Ceux qui ont commis beaucoup d'erreurs et /ou d'omissions à la classe virtuelle sont ceux qui ont le plus de mal à gérer les distracteurs en modalité expérimentale, et inversement.

Il existe une tendance à la significativité, entre le nombre d'erreurs et d'omissions commises à la classe virtuelle et le nombre d'erreurs commises à l'épreuve d'inhibition de KITAP ($p = 0,09$).

En revanche, il n'existe pas de corrélation significative entre le nombre d'erreurs et d'omissions commises à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP et entre le nombre d'erreurs et d'omissions commises à l'épreuve de la classe virtuelle.

Nous ne retrouvons pas de corrélation des performances attentionnelles (attention soutenue et inhibition) en modalité expérimentale et virtuelle, hormis pour la distractibilité.

3.2 Corrélations entre les performances en modalité virtuelle et les performances en modalité naturelle

Tableau 15 : Corrélations entre les performances à la classe virtuelle et l'évaluation en modalité naturelle.

		MODALITE NATURELLE					
		SKAMP échelle attention (n = 18)		SKAMP échelle comportementale (n = 18)		BRIEF Echelle de contrôle (Parents) (n = 27)	
		r	p	r	p	r	p
MODALITE VIRTUELLE	Classe Virtuelle (erreurs et omissions) (n = 26)	-0,02	0,92	-0,09	0,73	-0,41	0,04

Coefficient de corrélation de Bravais-Pearson

Il n'y a aucune corrélation significative entre les erreurs et omissions commises en réalité virtuelle et les scores obtenus à la SKAMP.

Il existe une corrélation inverse significative entre le nombre d'erreurs en réalité virtuelle et l'indice « contrôle » obtenu à la BRIEF Parents. Plus les enfants font d'erreurs à la classe

virtuelle plus le score BRIEF est bas, et inversement. Les enfants qui ont les meilleures capacités de contrôle selon leurs parents, sont ceux qui commettent le plus d'erreurs à la classe virtuelle.

Nous ne trouvons pas de corrélation entre les performances attentionnelles en modalité virtuelle et en modalité naturelle, pour notre groupe TDA/H.

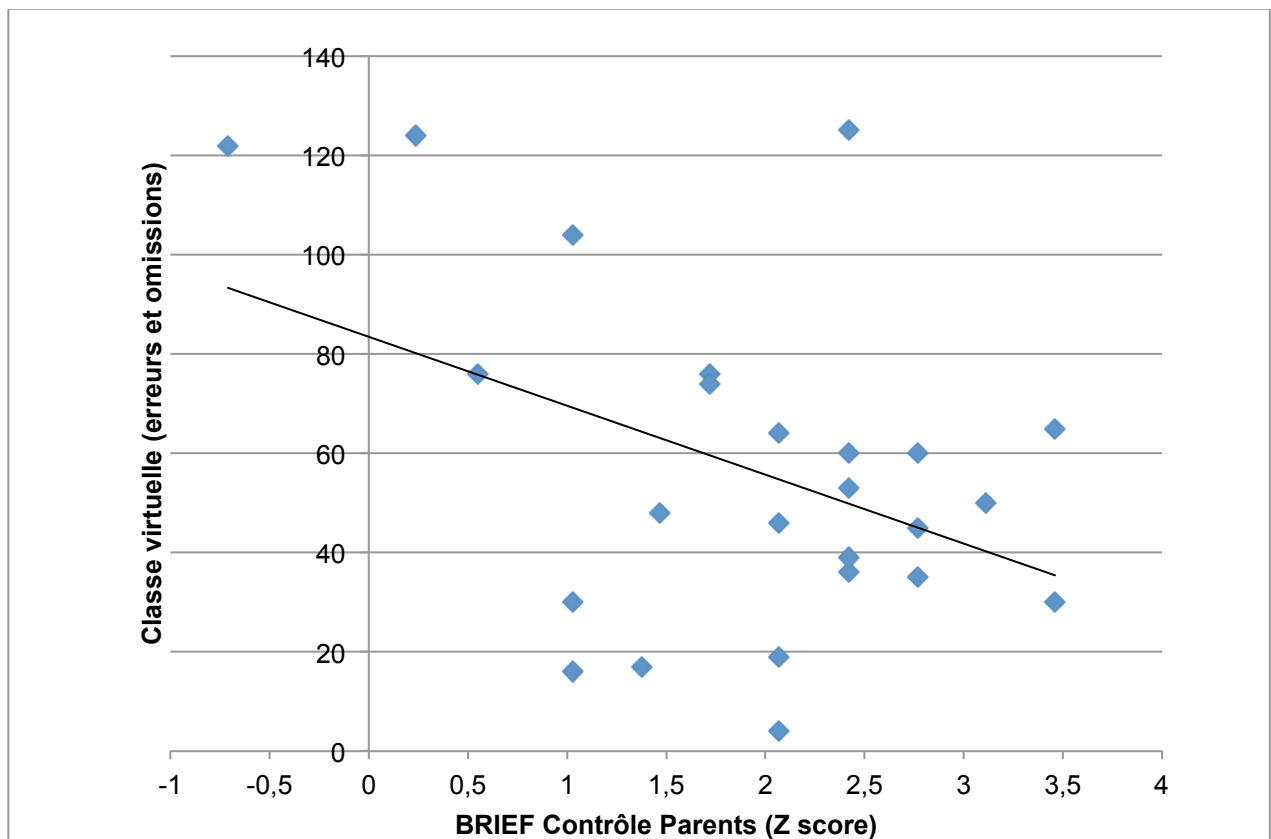


Figure 1 : Nombre d'erreurs et d'omissions à la classe virtuelle en fonction du Z score obtenu à la sous-échelle contrôle du BRIEF parents.

3.3 Corrélations entre les performances attentionnelles en modalité expérimentale et les performances attentionnelles en modalité naturelle

Tableau 16 : Corrélations entre les performances obtenues en modalité expérimentale et les performances en modalité naturelle.

		MODALITE NATURELLE			
		SKAMP échelle d'attention		SKAMP échelle comportementale	
		r	p	r	p
MODALITE EXPERIMENTALE	KITAP Inhibition (erreurs)	N. S.		0,26	0,28
	KITAP Attention soutenue (erreurs et omissions)	0,63	0,005	N. S.	
	KITAP Distractibilité (erreurs et omissions)	N. S.		0,22	0,37

Coefficient de corrélation de Bravais-Pearson

Il n'y pas de corrélation significative entre les scores obtenus au Go-No go de KITAP et les scores aux échelles SKAMP.

Il existe une corrélation positive très significative ($p= 0,005$) entre le nombre d'erreurs et d'omissions commises à l'épreuve d'attention soutenue en modalité expérimentale, et l'échelle attention SKAMP. Les enfants TDA/H qui commettent le plus d'erreurs et d'omissions à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP sont ceux qui sont considérés comme les plus inattentifs en classe, et inversement.

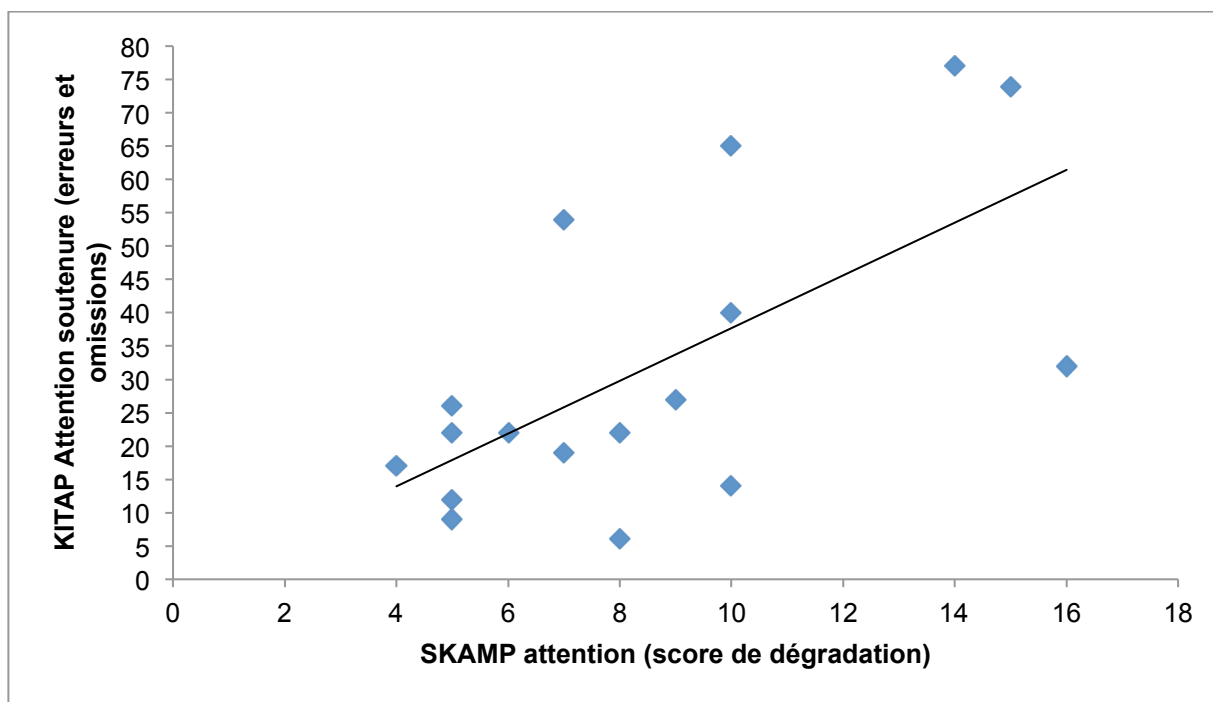


Figure 2 : Nombre d'erreurs et d'omissions à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP en fonction du score à l'échelle SKAMP attention

Les performances en attention soutenue des enfants TDA/H covarient dans les situations d'évaluation naturelle et expérimentale.

3.4 Comparaison entre les performances en lecture en modalité naturelle et les performances en lecture en modalité expérimentale.

Tableau 17 : Comparaison entre le nombre de mots lus à la BALE et le rang obtenu au questionnaire de lecture enseignant

		MODALITE NATURELLE				P
		Groupe "lecteurs forts" (n = 7)		Groupe "lecteurs moyens-faibles" (n = 10)		
		m	E.T.	m	E.T.	
MODALITE EXPERIMENTALE	BALE Nombre de mots lus	115	(30,4)	81,56	(14,97)	0,01
	BALE Nombre d'erreurs	4,1	(6,5)	4,5	(4,7)	0,87

Test de T student ($p < 0,05$)

Le groupe désigné par les enseignants comme étant des lecteurs « moyens-faibles » lit en moyenne moins de mots en modalité expérimentale (soit -1,1 E.T. /moyenne d'âge) que le groupe désigné par les enseignants comme étant des « lecteurs forts » (situés à 0,7 E.T. /moyenne d'âge). Cette différence est significative (0,01). Le nombre d'erreurs de lecture ne distingue pas significativement les deux groupes. Il apparaît dans ce tableau que le niveau de lecture évalué en modalité expérimentale correspond au niveau de lecture évalué modalité naturelle, et inversement.

4 Instabilité motrice et performances attentionnelles

Tableau 18 : Corrélations entre les mouvements de la tête pendant la classe virtuelle et les performances obtenues aux différentes modalités d'évaluation de l'attention.

	Classe Virtuelle (mouvements de la tête)	
	r	P
Classe virtuelle (erreurs et omissions) (n = 26)	-0,75	0,71
Classe Virtuelle T.R. (n = 26)	-0,34	0,08
KITAP Attention soutenue (erreurs et omissions) (n = 27)	0,05	0,8
SKAMP échelle comportementale (n = 18)	-0,02	0,93

Coefficient de corrélation de Bravais-Pearson

Il existe une tendance à la corrélation négative entre les mouvements de la tête pendant l'épreuve en réalité virtuelle et le T.R. en réalité virtuelle ($p = 0,08$). Plus le sujet bouge la tête, plus il est rapide dans son T.R. à la classe virtuelle, et inversement.

L'amplitude des mouvements de la tête n'est pas corrélée à la réussite aux épreuves de la classe virtuelle, d'attention soutenue et au comportement évalué par les enseignants.

5 Effet de l'âge chronologique sur les performances

Tableau 19 : Corrélations entre l'âge chronologique et les variables attentionnelles, exécutives et de lecture.

	Groupe TDA/H (n = 27)	
	r	p
Age / KITAP Attention soutenue (erreurs + omissions)	-0,37	0,05
Age / KITAP Attention soutenue (T.R.)	-0,37	0,15
Age / KITAP Distractibilité (erreurs + omissions)	N.S.	
Age / KITAP Distractibilité (T.R.)	-0,07	0,61
Age / KITAP Inhibition (erreurs)	N.S.	
Age / KITAP Inhibition (T.R.)	-0,46	0,002
Age / Clase Virtuelle (erreurs + omissions)	N.S.	
Age / Clase Virtuelle (T.R.)	-0,28	0,07
Age / BRIEF Parents (GEC)	N.S.	
Age / Nombre de mots lus en 1 minute	0,44	0,01

L'âge chronologique entretient une relation inverse significative avec les erreurs et les omissions commises à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP ($p = 0,05$). Plus les enfants TDA/H sont âgés, plus ils réussissent en attention soutenue.

Par ailleurs, l'âge chronologique des enfants TDA/H est corrélé positivement et de manière significative à la vitesse de lecture ($p = 0,01$).

De plus, l'âge chronologique est corrélé de manière significative ($p = 0,002$) aux T.R. du Go-No Go de KITAP. Plus les enfants TDA/H sont âgés, plus ils sont rapides sur une tâche d'inhibition.

Nous ne retrouvons pas de corrélations significatives avec les autres variables étudiées.

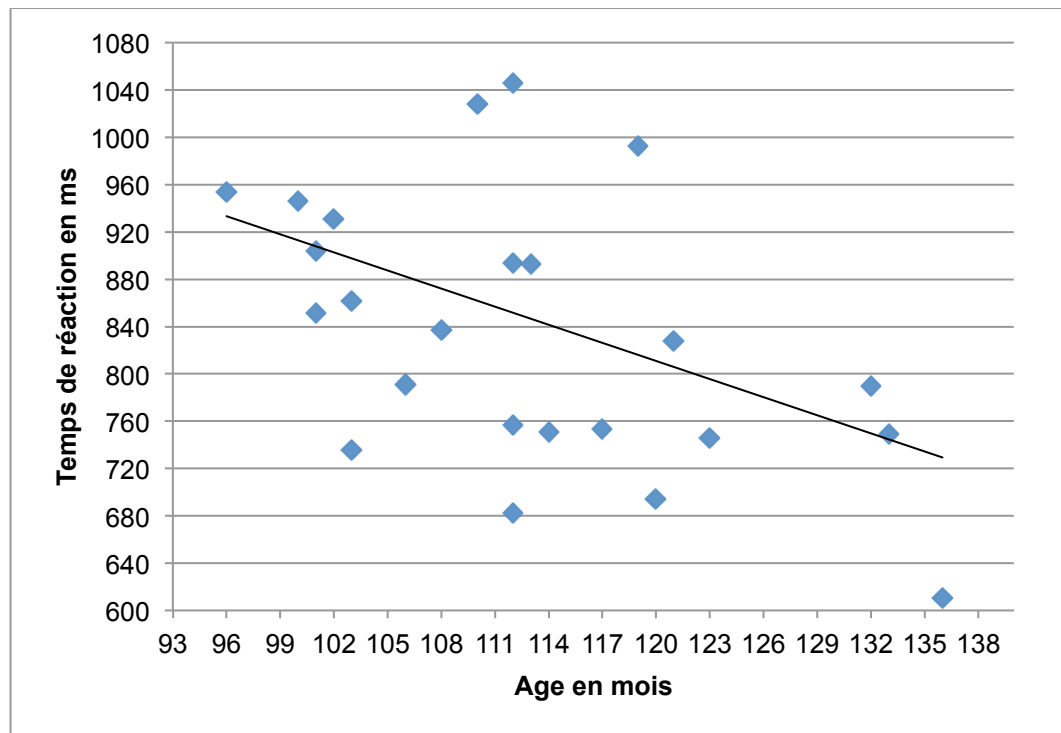


Figure 3 : Temps de réaction à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP en fonction de l'âge chronologique

Il apparaît que le temps de réaction à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP diminue avec l'âge.

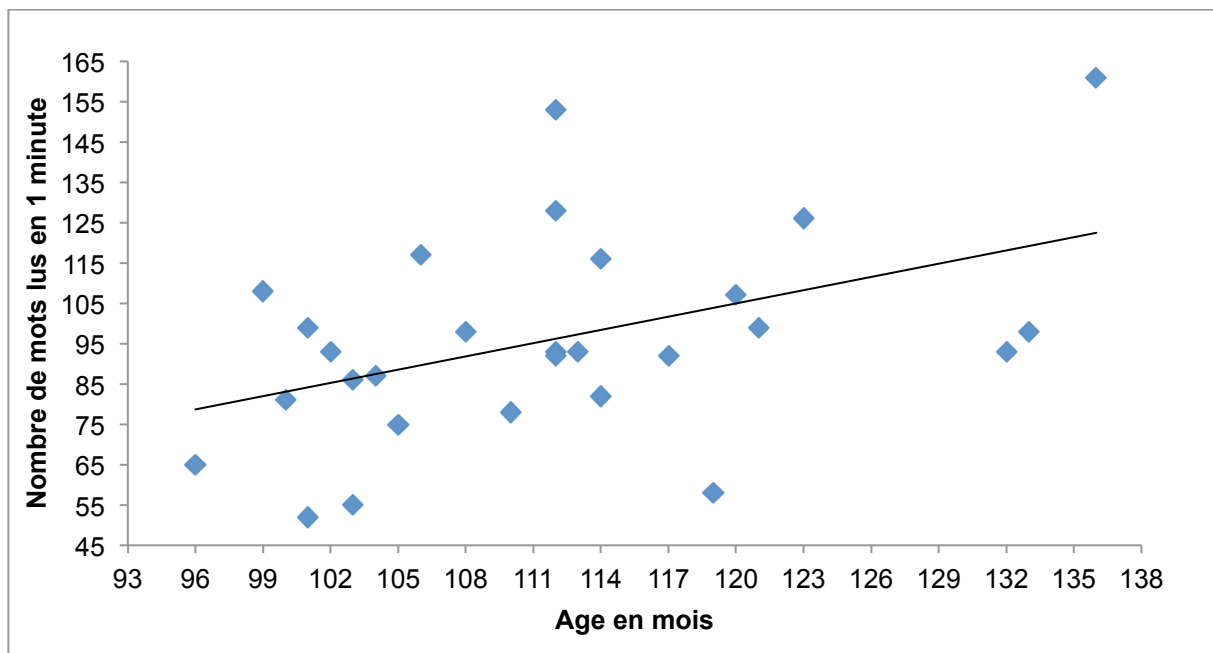


Figure 4 : Nombre de mots lus en une minute à la lecture de texte de la BALE en fonction de l'âge chronologique

Il apparaît sur cette figure, que le nombre de mots lus en 1 minute augmente avec l'âge chronologique.

6 Lien entre le niveau de lecture et les performances attentionnelles et exécutives des enfants TDA/H

6.1 Performances attentionnelles au KITAP des enfants TDA/H selon leur niveau de lecture

Tableau 20 : Comparaison des scores obtenus aux épreuves de KITAP par les « bons » et « mauvais » lecteurs.

		Bons lecteurs (n = 17)		Mauvais lecteurs (n = 11)		P
		m	E.T.	m	E.T.	
GO-NO GO	T.R. médiane (ms)	486,18	(65,79)	519,18	(75,17)	0,23
	Nombre d'erreurs	2,76	(1,79)	2,82	(1,72)	0,94
DISTRACTIBILITE	T.R. médiane (ms)	481,29	(131,06)	650,27	(227,95)	0,02
	Nombre d'erreurs	16,35	(9,52)	10,64	(7,19)	0,1
ATTENTION SOUTENUE	T.R. médiane (ms)	774,13	(104,9)	962,27	(144,15)	0,01
	Nombre d'erreurs	15,88	(18,34)	11,73	(13,69)	0,53

Test T de student ($p < 0,05$)

Il n'existe aucune différence significative entre les « bons lecteurs » et les « mauvais lecteurs » sur les compétences en inhibition à l'épreuve de KITAP.

Le T.R. moyen à l'épreuve de distractibilité de KITAP, distingue significativement les bons des mauvais lecteurs ($p = 0,02$). Les bons lecteurs sont plus rapides à cette épreuve.

Le T.R. à l'épreuve d'attention soutenue de KITAP distingue significativement les bons des mauvais lecteurs ($p = 0,01$). Les mauvais lecteurs sont plus lents à cette épreuve.

Seuls les T.R. aux épreuves de KITAP (attention soutenue et distractibilité) sont significativement différents selon le niveau de lecture des enfants TDA/H et pas les scores de réussite.

6.2 Performances à la classe virtuelle selon le niveau de lecture

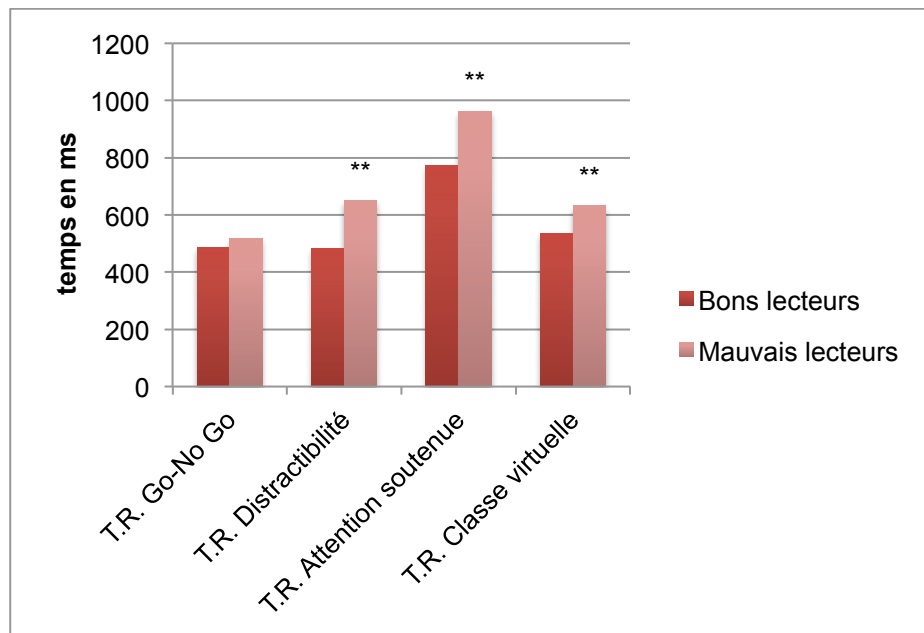
Tableau 21 : Comparaison des scores obtenus à la classe virtuelle par les « bons » et « mauvais » lecteurs.

	Bons lecteurs n = 17		Mauvais lecteurs n = 9		P
	m	E.T.	m	E.T.	
Classe Virtuelle T.R. (ms)	536,71	81,06	631,67	139,24	0,04
Classe virtuelle E.T. du T.R. (ms)	209,65	45,99	261,44	85,44	0,05
Classe virtuelle Nombre d'erreurs	16,29	11,19	28,44	19,57	0,05

Test T de student ($p < 0,05$)

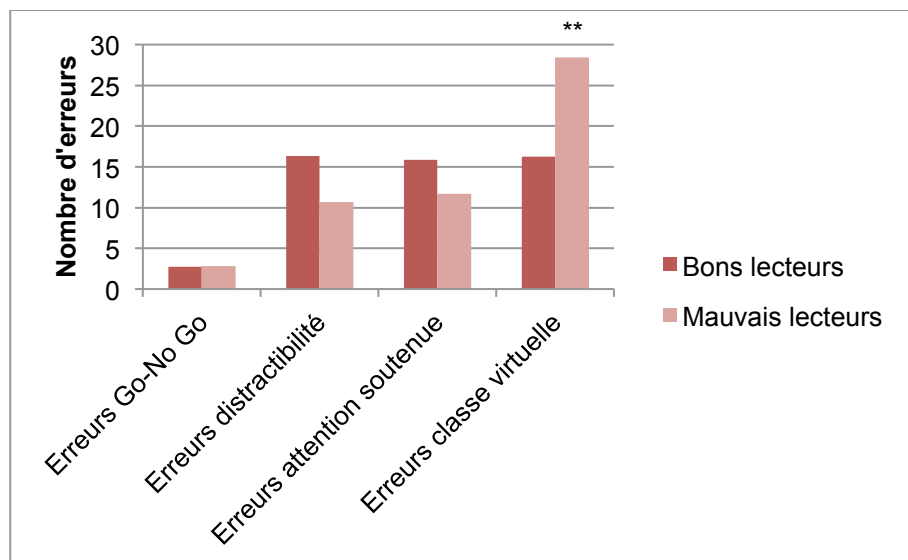
Le T.R. à l'épreuve de la classe virtuelle différencie significativement les deux groupes ($p=0,04$). De même l'écart-type du temps de réaction en réalité virtuelle, différencie significativement les bons lecteurs des mauvais lecteurs ($p = 0,05$). Les mauvais lecteurs sont plus lents que les bons lecteurs à la classe virtuelle. A cette épreuve, les bons lecteurs commettent moins d'erreurs que les mauvais lecteurs. Cette différence est significative ($p = 0,05$).

⇒ En résumé :



**** différence significative ($p < 0,05$)**

Figure 5 : Comparaison des T.R. des bons et des mauvais lecteurs durant les épreuves attentionnelles



**** différence significative ($p < 0,05$)**

Figure 6 : comparaison du nombre d'erreurs commis par les bons et les mauvais lecteurs aux épreuves attentionnelles.

6.3 Performances exécutives selon le niveau de lecture

Tableau 22 : Comparaison des scores obtenus au questionnaire BRIEF parents entre les groupes « bons » et « mauvais » lecteurs.

	Bons lecteurs n = 16		Mauvais lecteurs n = 11		P
	m	E.T.	m	E.T.	
Flexibilité BRIEF version parents	1,43	1,04	0,79	0,63	0,09
GEC BRIEF version parents	2,26	0,88	1,74	0,73	0,12

Test T de student ($p < 0,05$)

Il existe une différence qui tend à la significativité entre les capacités de flexibilité des « bons » et « mauvais » lecteurs. Les « bons lecteurs » sont sensiblement moins flexibles, selon leurs parents, que les « mauvais lecteurs ».

Il semblerait que les performances exécutives de notre groupe TDA/H ne soient pas liées au niveau de lecture et inversement, contrairement aux performances attentionnelles.

⇒ Pour résumer nos résultats:

Tableau 23 : Analyse en composante principale

	Facteurs						
	1	2	3	4	5	6	7
BRIEF Inhibition (enseignant)	+		+				
BRIEF Contrôle (enseignant)	+		+				
BRIEF Flexibilité (enseignant)	+		+				
BRIEF GEC (enseignant)	+		+				
SKAMP (attention)		+			+		
SKAMP (comportement)	+		+				
KITAP Inhibition (erreurs)		+					
KITAP Distractibilité E.T. T.R.						+	
KITAP Distractibilité (erreurs)							
KITAP Distractibilité (omissions)						+	
KITAP Attention soutenue T.R.				+			
KITAP Attention soutenue E.T. T.R.				+			
KITAP Attention soutenue (erreurs)		+			+		
KITAP Attention soutenue (omissions)		+		+	+		
Classe virtuelle T.R.				+			
Classe virtuelle E.T. T.R.				+			
Classe Virtuelle (erreurs)							
Classe virtuelle (mouvements tête)		+		+			
LECTURE (nombre de mots lus)				+			+
LECTURE (nombre d'erreurs)						+	
Age							+

Corrélation Variable Facteur > 0,5 (p < 0,05)

7 Analyse qualitative

L'analyse quantitative nous a permis d'apprécier les performances des enfants TDA/H aux différents tests proposés mais elle ne rend pas compte de la façon dont les enfants ont éprouvé ce protocole. Plus précisément, nous souhaitons faire part des observations faites par les enfants après leur immersion en réalité virtuelle.

En général, l'évaluation de la tolérance à l'immersion en réalité virtuelle ne rapporte pas d'effets secondaires (type cybersickness) avec la classe virtuelle. Quelques enfants se sont plaints d'avoir mal aux yeux, ou d'avoir la vision floue vers les dernières minutes de test. D'autres se sont plaints du port du casque.

Notre protocole d'évaluation durait environ une heure, la durée de notre protocole a plutôt été bien tolérée. Toutefois, proposer deux tests d'attention soutenue en une heure, nécessitait que les enfants aillent puiser dans leurs ressources attentionnelles. La plupart étaient épuisés en quittant notre bureau.

Nous avons remarqué que chez certains enfants, le distracteur sonore de la sonnerie d'école, provoquait un sursaut fort, tel un avertisseur sonore.

Beaucoup d'enfants ont essayé d'interagir avec l'environnement virtuel : certains adressaient la parole à la maîtresse ou aux autres élèves, certains répondaient « oui » lorsqu'on frappait à la porte de la classe.

En général les enfants ont apprécié l'immersion en réalité virtuelle et ont souvent préféré cette épreuve aux autres. Les tests proposés par la batterie KITAP ont également été appréciés de par l'univers de la batterie (le château, les fantômes...) mais aussi par les scénarios racontés pour mettre en place les différentes consignes.

Enfin, nous vous proposons un recueil des réactions des enfants TDA/H durant ou suite à la passation de la classe virtuelle :

- « La maîtresse ne s'énerve pas alors qu'il y a un avion en papier qui tombe à ses pieds. »
- « Y a pas autant de bruit dans ma classe, c'est très déconcentrant ! »
- « Ça ressemble pas à la réalité, ça ressemble à un dessin-animé. »
- « Bah, pourquoi les enfants ne partent pas en récréation quand ça sonne ? »

- « Maîtresse ? Maîtresse ? »
- « Pourquoi la fille elle lève le doigt ? Pourquoi y a un avion en papier ? »
- « L'heure de l'horloge de la classe n'est pas bonne. »
- « C'est bizarre, ça a sonné quatre fois ! »
- « C'est un peu comme la vraie classe, mais pas trop. »
- « Ça ressemble à l'école mais je ne me croyais pas à l'école. »
- « C'est toujours le même bus et la même voiture qui passent dans la rue.»
- « C'est bizarre, y a beaucoup de bruits pour me distraire. Ca ressemble pas à l'école parce que s'il y avait un bruit comme ça à l'école, je ne pourrais pas travailler.»
- « C'était trop cool !»

DISCUSSION

Le premier objectif de notre étude est d'étudier l'influence de la modalité d'évaluation sur les performances attentionnelles et les compétences en lecture, auprès d'une population d'enfants TDA/H naïve de tout traitement médicamenteux et ne présentant pas de trouble spécifique de la lecture. Notre protocole d'évaluation comprenait donc des outils d'évaluation dans trois modalités différentes : modalité naturelle (en classe), modalité expérimentale (avec un examinateur), modalité virtuelle (immersion dans un environnement virtuel via un visiocasque). Par ailleurs, nous voulions étudier les liens entre les compétences attentionnelles, les compétences exécutives, le niveau de lecture, l'âge et l'instabilité motrice.

1 Rappel des résultats

Les résultats de cette étude indiquent que :

- Les enfants TDA/H font plus d'erreurs, d'omissions, d'erreurs impulsives et ont une plus grande variabilité du temps de réaction que le groupe contrôle lors de la classe virtuelle.
- Les enfants TDA/H ont de moins bonnes performances en général aux épreuves attentionnelles de la batterie KITAP que les contrôles.
- Les enfants TDA/H, évalués à l'aide du questionnaire BRIEF, ont un fonctionnement exécutif déficitaire comparés à une population saine.
- 40 % des enfants TDA/H de notre étude sont de faibles lecteurs comparés à une population saine.
- Les mesures de la classe virtuelle sont corrélées uniquement avec les scores de distractibilité des enfants, obtenus en modalité expérimentale.
- Les mesures de la classe virtuelle ne sont pas corrélées avec celles de l'attention soutenue, obtenues en modalité expérimentale.
- Les mesures de la classe virtuelle ne sont pas corrélées avec les mesures de l'attention, obtenues en milieu naturel.
- Les mesures de la classe virtuelle sont très fortement corrélées avec le niveau de lecture des enfants.

- Les mesures de l'attention soutenue de KITAP sont fortement corrélées avec l'évaluation de l'attention en modalité naturelle.
- L'évaluation de la lecture en modalité expérimentale est comparable à celle réalisée en modalité naturelle.
- L'âge chronologique est fortement corrélé aux performances d'attention soutenue en modalité expérimentale ainsi qu'à la vitesse de lecture.

2 Discussion des résultats

➤ Quel est le profil attentionnel, exécutif, de lecture de notre groupe d'enfants TDA/H ?

Les enfants TDA/H de notre étude sont moins performants et sont plus lents que le groupe contrôle à la classe virtuelle. Ces résultats concordent avec les données de la littérature (Parsons et al., 2007 ; Adams et al., 2009 ; Pollak et al., 2009, Bioulac et al., 2011). Les TDA/H sont également moins performants, plus lents et moins stables dans leur temps de réaction aux épreuves de distractibilité et d'attention soutenue, comparés au groupe sain. Ces résultats sont en accord avec la littérature (Zimmermann et al., 2002 ; Berquin, 2005 ; Thomas et Willems, 2001).

Le groupe TDA/H de notre étude a un profil exécutif déficitaire et de moins bonnes capacités d'inhibition, comparé à une population saine du même âge. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature (Zimmermann et al., 2002 ; Wodka et al., 2007 ; Kaufmann, Zieren et al. 2010) ainsi qu'avec les modèles explicatifs de Barkley (1997) et de Sonuga-Barke (2002) qui placent le déficit exécutif et du contrôle inhibiteur à l'origine du TDA/H.

➤ Quel est le lien entre l'évaluation des performances attentionnelles en modalité virtuelle et celle en modalité expérimentale ?

Les résultats de notre étude indiquent une corrélation entre les performances obtenues à l'épreuve de distractibilité et les erreurs et omissions faites durant la classe virtuelle. L'étude de Parsons et al. (2007) ou celle de Adams et al. (2009) ont montré une dégradation des scores des TDA/H comparés à une population saine, entre les performances à la tâche A-K du CPT et les performances à la classe virtuelle. Les auteurs ont conclu à un effet des distracteurs de

l'environnement virtuel, les enfants TDA/H ayant plus de difficultés à gérer ces distracteurs que les sujets sains. Pourtant, il n'y a pas à notre connaissance d'étude dans la littérature ayant déjà comparé les performances à la classe virtuelle à un outil validé d'évaluation de la distractibilité. Nos résultats mettent en évidence que la classe virtuelle met en jeu des compétences de résistance aux distracteurs.

Nos résultats n'indiquent aucune corrélation entre l'épreuve d'attention soutenue de KITAP et la classe virtuelle. Dans la littérature, l'étude de Parsons et al. (2007) indique une corrélation entre les mesures de la classe virtuelle et les mesures du CPT classique (tâche A-X). Bioulac (2011) rapporte les mêmes corrélations entre CPT classique et classe virtuelle.

Enfin, nous trouvons une tendance à la corrélation entre la classe virtuelle et l'épreuve d'inhibition de KITAP. La tâche A-K nécessite d'inhiber toutes les cibles A suivies d'une autre lettre que le K..

➤ **Quel est le lien entre l'évaluation en modalité virtuelle et les mesures en modalité naturelle ?**

Nos résultats n'indiquent aucune relation entre l'évaluation des performances en modalité virtuelle et celle réalisée par les enseignants (modalité naturelle) à l'aide de la SKAMP.

Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature. Adams et al. (2009) ne trouvent aucune corrélation entre classe virtuelle et les mesures à l'échelle BASC (Behavior Assessment System for children). Parsons et al.(2007) rapportent quant à eux, une corrélation modérée entre la Swan Behavior Checklist et les performances à la classe virtuelle.

Notre choix d'évaluation de l'attention en situation naturelle par les enseignants, repose sur les conclusions de l'APA (1986) qui favorisent la cotation enseignants à la cotation parents. Selon l'APA, les enseignants sont plus entraînés à observer le comportement d'un enfant et ont plus d'opportunités pour observer les situations mettant en jeu l'attention soutenue et l'inhibition comportementale. D'autre part, Barkley (1991) explique que la meilleure évaluation écologique est l'observation directe en milieu naturel. Pour lui les items des échelles parents ou enseignant sont trop vagues ou mal définis. De plus, l'auteur ajoute que la cotation de ces échelles est soumise à une variance d'erreurs due à des facteurs qui touchent le cotateur (dépression maternelle, discorde conjugale...) plutôt que le sujet lui-même.

Le premier exemple de ce type d'approche « 100 % naturelle » est celui de Atkins, Pelham et Licht (1985). Ils ont inclus dans une batterie d'évaluation des performances scolaires, l'observation directe en classe et l'inspection de l'organisation du bureau. Cette batterie a démontré un excellent taux de classification en discriminant les enfants TDA/H des enfants non TDA/H. Pourtant, une telle méthode d'évaluation est difficilement réalisable (temps, coût). La meilleure solution actuellement est donc de coupler l'évaluation clinique avec l'observation des parents et des enseignants. Barkley (1991) ajoute que lorsque les résultats en situation expérimentale diffèrent de ceux obtenus par les cotations parents et enseignants, et de l'observation directe et de l'histoire de l'enfant, il est préférable de ne pas tenir compte des résultats expérimentaux. La classe virtuelle ne remplirait qu'un seul de ces critères selon nos résultats.

L'environnement virtuel de la classe sollicite les capacités de contrôle des distracteurs, des enfants TDA/H mais ne semble pas mettre en jeu les mêmes processus cognitifs que ceux mis en jeu en situation de classe réelle. Franzen et al. (1996) définissent la validité écologique comme la représentativité d'un test avec des situations du quotidien ainsi que sa capacité à prédire les comportements dans un milieu naturel en fonction des scores obtenus.

➤ **Quel est le lien entre l'évaluation des fonctions attentionnelles en modalité expérimentale et leur évaluation en modalité naturelle ?**

Nos résultats montrent un lien très fort entre le nombre d'erreurs et d'omissions commis à la tâche d'attention soutenue de KITAP et le score à l'échelle d'inattention de la SKAMP.

Les processus cognitifs mis en jeu lors de la tâche de KITAP semblent être les mêmes que ceux requis en situation scolaire, ce qui attribue à cette batterie une qualité écologique certaine.

➤ **Quel est l'apport de la mesure de l'instabilité motrice évaluée durant la classe virtuelle ?**

Nous ne retrouvons dans notre étude aucun lien entre les mesures des mouvements de la tête en réalité virtuelle et le comportement des enfants en classe, évalué par les enseignants. L'environnement de la classe virtuelle est censé augmenter la validité écologique du CPT, pourtant l'instabilité motrice lors de l'immersion virtuelle ne semble pas être de la même nature que celle en situation naturelle.

Dans notre étude nous ne trouvons aucun lien entre l'instabilité motrice durant la classe virtuelle et les performances à la batterie KITAP. En revanche, les enfants TDA/H les plus rapides à la classe virtuelle sont ceux qui bougent le plus et non pas ceux qui font le plus d'omissions et d'erreurs. L'étude de Parson et al. (2007) indique une forte corrélation positive entre l'instabilité motrice à la classe virtuelle et le nombre d'erreurs commis au CPT II pour le groupe contrôle. A l'inverse, ils trouvent une forte corrélation négative entre l'instabilité motrice et le nombre d'erreurs commis au CPT II pour leur groupe TDA/H. Les auteurs expliquent que si on accepte le fait qu'une meilleure stabilité motrice entraîne une meilleure attention et donc moins d'erreurs chez les contrôles, il faut aussi comprendre qu'une plus forte instabilité motrice à la classe virtuelle chez les TDA/H n'est pas liée à une augmentation des erreurs.

En accord avec nos résultats, l'instabilité motrice ne fait pas chuter les performances des enfants TDA/H. Ce constat devrait être transmis aux enseignants et aux parents afin qu'ils tolèrent cette instabilité motrice au cours des situations d'apprentissage.

Nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les deux groupes concernant les mouvements de la tête, à la différence des données de la littérature (Parsons et al., 2007). Qui plus est, les enfants du groupe contrôle ont une plus forte instabilité que les enfants TDA/H. Cette différence peut être due à la petite taille de notre groupe contrôle. Malgré une instabilité motrice dans les deux groupes, le groupe contrôle fait moins d'omissions que le groupe TDA/H. Il est possible que le groupe contrôle arrive à explorer l'environnement virtuel tout en exécutant la tâche demandée (capacité d'attention divisée), alors qu'un sujet TDA/H n'en est pas capable (déficit de l'attention divisée dans le TDA/H) et commet par conséquent plus d'omissions. Nous pouvons aussi penser que la motricité de la population saine est une motricité d'exploration et non une instabilité.

➤ **La Classe Virtuelle est-elle un outil d'évaluation de l'attention ?**

Il est important de préciser que notre étude est la première à notre connaissance, à comparer la classe virtuelle à une batterie attentionnelle informatisée, comprenant une épreuve d'attention soutenue et de distractibilité.

Nos résultats indiquent donc peu de lien entre les performances à la classe virtuelle et les performances aux épreuves traditionnelles d'évaluation de l'attention, qu'elles soient expérimentales ou naturelles. La tâche A-K du CPT intégrée dans la classe virtuelle, est

définie par certains comme une tâche d'attention soutenue (Bioulac, 2011) et par d'autres comme une tâche de vigilance (Rizzo et al., 2002). Le CPT est un des tests les plus connus et utilisés pour évaluer l'attention chez l'enfant (Edwards, Gardner, Chelonis, 2007 ; Mc Gee, Clark et Symons, 2000 ; Epstein et al., 2003), pourtant cet outil a un pouvoir prédictif limité. (Nigg, Hinshaw et Halperin, 1996). L'intégration du CPT dans un environnement virtuel riche en distracteurs visuels et sonores, permet d'augmenter la spécificité du test (capacité à identifier les sujets sains) mais non pas sa sensibilité (capacité à identifier les sujets TDA/H) (Adams et al., 2009). Grodzinsky et Barkley (1999) cités par Adams et al. (2009) ont mis en évidence qu'environ 60 % des TDA/H évalués à l'aide de la tâche A-K du CPT obtiennent des scores dans la norme.

Par ailleurs, nos résultats indiquent que le niveau de lecture est corrélé aux performances à la classe virtuelle.

Les liens que nous avons trouvés entre les performances des enfants TDA/H à la Classe Virtuelle et le niveau lecture sont mis en évidence, pour la première fois à notre connaissance, par notre étude. En effet, cette tâche fait intervenir la reconnaissance de lettres, nous ne pouvons donc pas savoir si l'enfant qui échoue est en difficulté à cause d'un trouble attentionnel, d'un trouble de la lecture ou à cause des deux. A la différence du CPT et donc de la classe virtuelle, la batterie KITAP propose des épreuves indépendantes des variables linguistiques (tel un instrument non-verbal), ce qui permet une évaluation plus spécifique de l'attention. La classe virtuelle solliciterait donc des compétences en lecture. Dans ce domaine, Mc Gee et al. ont démontré en 2000 des liens entre conscience phonologique et performances au CPT tandis qu'aucune corrélation n'était retrouvée avec les échelles d'attention et de comportement (Conners, CBCL, Teacher Report Form).

De plus, nos résultats ne mettent pas en évidence de lien entre la classe virtuelle et le questionnaire BRIEF. Les aspects exécutifs évalués par le BRIEF ne sont pas mis en jeu lors de la passation de la classe virtuelle.

➤ **Quelle est la concordance entre l'évaluation de la lecture en modalité expérimentale et l'évaluation de la lecture en modalité naturelle ?**

Nos résultats indiquent une bonne concordance dans l'évaluation du niveau de lecture entre les situations d'évaluation expérimentale et naturelle. De plus, nos résultats montrent que les

deux groupes de lecteurs formés d'après leur évaluation de la lecture se distinguent par leur vitesse de lecture et non par leur nombre d'erreurs.

Ce constat nous permet donc d'avancer que les enseignants jugent le niveau de lecture d'un élève selon sa vitesse de lecture et non pas sur sa précision. Un élève TDA/H lisant vite mais faisant des erreurs (omission, saut de ligne, paralexie) entraînant des difficultés de compréhension, ne sera donc pas rapidement repéré par l'enseignant comme un élève ayant des difficultés de lecture.

➤ **Quel est l'effet de l'âge sur les performances attentionnelles, exécutives et de lecture ?**

Nos résultats indiquent une influence de l'âge chronologique sur la précision en attention soutenue, sur le temps de réaction lors d'une tâche d'inhibition et non pas sur les autres composantes attentionnelles. L'âge chronologique influe aussi sur la vitesse de lecture.

Nous rappelons que nos sujets se situent entre 8 et 10 ans (moyenne d'âge de 9 ans 3 mois).

Pour ce qui concerne les performances d'attention soutenue, nos résultats sont en accord avec la littérature (Rebock et al., 1997 ; Klenberg et al., 2001 ; Betts et al., 2006 ; Sobeh et al., 2011) et avec le développement de l'attention chez l'enfant que nous avons exposé précédemment. Les enfants TDA/H les plus âgés de notre étude, sont les plus rapides sur une tâche d'inhibition. A l'inverse, les enfants normaux de l'étude de Sobeh et al. (2012) soumis à la même épreuve d'inhibition, n'améliorent pas leur T.R. après 8 ans.

Ce constat soulève la question d'un retard de maturation de certaines fonctions exécutives dans le TDA/H.

Nous ne retrouvons pas d'effet de l'âge sur les performances des enfants TDA/H à l'épreuve de distractibilité de KITAP. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Sobeh et al., (2011)

Concernant la lecture, nous remarquons, que l'automatisation de la lecture est un processus cognitif complexe qui se développe parallèlement à la maturation cognitive.

➤ **Quel lien existe-t-il entre lecture, attention et fonctions exécutives ?**

Dans notre étude nous avons pris le soin d'exclure les enfants présentant une comorbidité avec un trouble spécifique du langage écrit. L'intérêt de ce choix est de pouvoir étudier les liens qui unissent l'attention et les fonctions exécutives à la lecture ; les troubles de l'attention peuvent perturber l'apprentissage de la lecture et peuvent entraîner un retard

simple de la lecture (Thomas et Willems, 2001). En 2009, Hacques a mis en évidence le lien entre fonctions exécutives et apprentissages, nous avons voulu préciser si les fonctions exécutives et attentionnelles des enfants ont un rôle dans l'apprentissage et l'automatisation de la lecture.

Nous avons distingué au sein de notre population un groupe de bons lecteurs et un groupe de mauvais lecteurs. Près de 40 % de notre échantillon se situent dans le groupe des mauvais lecteurs.

Nous trouvons des liens très significatifs entre le niveau de lecture et les temps de réaction obtenus aux épreuves d'attention soutenue, de distractibilité de KITAP et à la classe virtuelle.

Lors de la réalisation de la tâche d'attention soutenue de KITAP, nous avons remarqué que les enfants avaient tendance à subvocaliser les couleurs de chaque fantôme qui apparaissait à l'écran (stratégie d'aide à la rétention) : ce qu'ils faisaient peut alors s'apparenter à une tâche de dénomination rapide. Ce temps de latence entre la dénomination et la réaction peut expliquer en partie le lien que nous trouvons entre le T.R. et la vitesse de lecture. L'étude de Castel et al. (2008) précise que la conscience phonologique et la dénomination rapide sont de bons prédicteurs de la vitesse de lecture de mots réguliers et irréguliers.

Nos résultats indiquent une tendance à la corrélation entre le niveau de lecture et l'indice de flexibilité à la BRIEF parents. Les meilleurs lecteurs sont ceux qui ont l'indice de flexibilité le plus dégradé. Ces résultats ne sont pas en accord avec la littérature. Nous expliquons cette différence par le fait que le BRIEF évalue la flexibilité comportementale alors que les études utilisent des tâches expérimentales pour évaluer la flexibilité cognitive ou attentionnelle. Willcutt, Pennington et al. (2001) précisent dans leur étude, que le groupe TDA/H comorbide à une dyslexie présente un déficit en mémoire de travail et en flexibilité.

Nos résultats n'indiquent pas de lien entre inhibition et lecture, les bons lecteurs ayant sensiblement les mêmes performances que les mauvais lecteurs.

Il est important de rappeler que la dyslexie et le TDA/H sont les troubles les plus fréquents chez l'enfant. En France, entre 12 et 20 % des enfants présenteraient des difficultés en lecture, et parmi eux entre 5 et 10 % présenteraient un trouble spécifique de la lecture (Ecalte et Magnan 2007). Le TDA/H quant à lui touche entre 3 et 5 % des enfants en France (Lecendreux, 2011). La comorbidité TDA/H – dyslexie a été démontrée par de nombreuses

études (Willcutt et al., 2001). Pourtant les liens qui existent entre ces deux troubles restent toujours vagues : est-ce deux troubles à part entière ou les déficits de l'un entraînent-ils l'apparition de l'autre ? Quelles que soient les causes de cette association, le fait que le TDA/H soit si souvent associé à un trouble spécifique ou non de la lecture nous laisse penser que l'attention et les fonctions exécutives sont liées à la capacité de lecture. De Jong, Van de Voorde et al. (2009) ont mis en évidence un déficit de l'inhibition secondaire à un déficit de vitesse de traitement de l'information chez les dyslexiques. De plus, les dyslexiques comorbides ou non à un TDA/H présentent de très bonnes capacités de mémoire de travail visuo-spatiale, cette capacité semble se développer comme une habileté en compensation du trouble de la lecture.

➤ **Quel est l'apport de la réalité virtuelle à l'évaluation attentionnelle des enfants présentant un TDA/H ?**

Nous avons choisi d'utiliser la classe virtuelle dans notre protocole, seul outil virtuel, à l'heure actuelle, permettant d'évaluer les capacités attentionnelles chez l'enfant.

La création de la classe virtuelle est née du postulat que le CPT, test attentionnel couramment utilisé chez l'enfant, manquait en spécificité et en validité écologique. Il a donc été pensé qu'intégrer le CPT dans un environnement virtuel proposant des distracteurs naturels permettrait d'augmenter la spécificité et la sensibilité du test (Adams et al., 2009)

L'intérêt de la classe virtuelle est d'une part de proposer un environnement se rapprochant de ce que côtoie l'enfant au quotidien. D'autre part, l'informatisation totale de l'administration (consigne délivrée par l'avatar de la maîtresse) permet d'obtenir une standardisation optimale de l'épreuve. Enfin, l'enregistrement des données par l'ordinateur permet l'obtention de résultats précis (en termes de temps de réaction par exemple) et limite les erreurs de cotation.

L'environnement virtuel et son caractère ludique permettent de faire oublier à l'enfant qu'il est en situation de test (Bioulac, 2011). Nous avons pu remarquer au cours de la passation du protocole, que certains enfants étaient moins engagés dans la tâche virtuelle que dans les épreuves en modalité expérimentale. Nous pensons que la relation duelle, malgré les biais qu'elle peut induire, a un rôle dans l'implication de l'enfant à exécuter la tâche. L'avatar de la classe virtuelle ne provoque pas le même engagement dans la tâche que la relation duelle avec l'examineur. De plus la classe virtuelle permet une immersion mais ne permet pas d'interaction. L'avatar de la maîtresse ne bouge pas (mis à part pour ouvrir la porte) et ne réagit à aucun des éléments distracteurs. Par exemple, les avions en papiers qui atterrissent à

ses pieds n'ont aucun effet sur elle, ce qui a laissé cois plusieurs sujets de notre population TDA/H. C'est ainsi que certains sujets de notre étude, ont préféré explorer la classe et ne pas exécuter la tâche, ils étaient libres dans cet environnement virtuel car ni l'examineur ni l'avatar n'intervenaient. Quand nous avons interrogé les enfants sur ce qu'ils avaient pensé de cet outil nous avons eu plusieurs types de remarques. Certains nous ont dit qu'il y avait beaucoup trop de bruits dans cette classe et heureusement qu'elle ne ressemblait pas à la leur car ils ne pourraient pas y travailler. La plupart des enfants ne comprenaient pas pourquoi la sonnerie (distracteur sonore) retentissait plusieurs fois en 10 minutes. Enfin nous pensons que la classe virtuelle ne propose pas un environnement du même niveau graphique que celui des jeux vidéo actuels auxquels les enfants sont sensibilisés.

3 Limites et biais

3.1 La population

La taille de notre échantillon est limitée, ce qui ne nous permet pas de généraliser nos résultats à la population totale. Le recrutement de notre population n'a pas été aisé puisque nos critères d'inclusion (âge) et d'exclusion (trouble spécifique du langage écrit, redoublement) réduisaient considérablement le nombre d'enfants susceptibles de pouvoir participer à notre étude. Nous n'avons pas distingué de sous-groupe clinique au sein de notre population TDA/H.

Le groupe contrôle et notre groupe d'étude ne sont pas appariés en âge. Afin de décrire le profil attentionnel de notre groupe TDA/H, nous avons inclus a posteriori les résultats d'un groupe contrôle sain dont la moyenne d'âge variait de deux ans.

3.2 Le protocole d'évaluation

Notre choix d'évaluation de l'attention, des fonctions exécutives et de la lecture en milieu naturel nous a confronté à la bonne volonté des enseignants pour remplir nos questionnaires. Nous avons eu beaucoup de refus (quasiment un enseignant sur deux) ce qui a réduit considérablement le nombre de données dans cette situation d'évaluation.

L'utilisation de la réalité virtuelle, nous a confronté à des problèmes liés à l'informatique (problème de lancement du logiciel, ralentissement du processeur influant sur le rythme de présentation des cibles). De plus, le logiciel de la classe virtuelle présente un bug, si bien qu'il était impossible de pouvoir proposer une période de sensibilisation avant le test. Nous avons seulement pu laisser l'enfant explorer l'environnement sans les distracteurs. Enfin, pour les enfants les plus jeunes, le visiocasque n'est pas toujours ajustable à leur tour de tête. Le poids du visiocasque peut être un inconvénient pour les plus jeunes, cet inconfort peut jouer sur la qualité de l'immersion en réalité virtuelle.

4 Les perspectives

Nous avons remarqué dans cette étude que la classe virtuelle ne met pas en jeu les mêmes processus cognitifs que ceux mis en jeu en situation de classe. De plus, cet outil ne permet pas de compléter le profil des performances.

Bien que la classe virtuelle distingue les TDA/H des enfants sains, cet outil n'apporte pas de données supplémentaires sur les processus attentionnels déficitaires.

L'efficacité de la réalité virtuelle dans les domaines de la psychiatrie et de la neuropsychologie (traitement des phobies, des troubles anxieux, des troubles des conduites alimentaire, addiction, autisme), comme outil de remédiation, a été prouvée. Toutefois des interrogations demeurent quant à l'efficacité à long terme et le transfert dans le monde réel (Klinger, 2006). La plupart des outils en réalité virtuelle actuels ont majoritairement été développés chez l'adulte et cela dans un objectif de remédiation. La classe virtuelle, développée comme outil d'évaluation, met en jeu la sensibilité aux distracteurs, sensibilité accrue chez les TDA/H ; la classe virtuelle s'apparente plus à une épreuve de distractibilité qu'à une épreuve d'attention soutenue ou de vigilance. Au vu des liens entre le niveau de lecture et les performances à la classe virtuelle, mis en évidence dans notre étude, la tâche cognitive proposée dans l'environnement virtuel devrait être non verbale.

Dans leur étude pilote, Rizzo et al. (2000), proposent une autre tâche dans l'environnement virtuel : des images du Boston Naming Test apparaissent sur le tableau virtuel, la maîtresse virtuelle dénomme ces images et l'enfant doit cliquer lorsque la maîtresse se trompe dans sa dénomination. Cette épreuve, mettant en jeu de l'attention divisée (attention visuelle et attention auditive) est une tâche qui nous semble plus proche de ce que l'enfant expérimente en classe en termes de sollicitation de l'attention. Outre le développement de nouveaux environnements virtuels, il est important que les développeurs des futurs outils virtuels s'attardent sur le choix de la tâche à exécuter.

Nous avons remarqué que la vitesse de lecture distinguait les bons lecteurs TDA/H des mauvais lecteurs TDA/H.

Les mauvais lecteurs TDA/H ne se distinguent pas des bons par leur nombre d'erreurs mais par leur vitesse de lecture. Il sera alors important que la prise en charge orthophonique s'axe

sur le ralentissement de la vitesse de lecture pour diminuer les erreurs, sans cela les erreurs de lecture pourraient persister et engendrer des difficultés de compréhension au fil de la scolarité.

Nos résultats indiquent que les performances attentionnelles (T.R.) et le niveau de lecture sont liés.

Le lien entre temps de réaction aux épreuves attentionnelles et le niveau de lecture, mis en évidence dans notre étude, soulève un questionnement quant à l'effet d'une rééducation de type bottom-up sur les temps de réaction sur la vitesse de lecture.

Au vu de ces résultats et de la fréquente association du TDA/H avec un trouble spécifique de la lecture ou avec un simple retard d'acquisition, il semble important que les orthophonistes évaluent la lecture et les fonctions exécutives, chez tout enfant présentant un trouble de l'attention. Dans notre étude nous n'avons pas pu expliciter l'intrication des fonctions exécutives dans l'apprentissage de la lecture. Pourtant des études menées en langues hébraïque et italienne (Bental et Tirosh 2007; Marzocchi, Oosterlaan et al., 2008), auprès d'enfants TDA/H et TDA/H comorbide à une dyslexie, ont montré une influence des fonctions exécutives dans l'apprentissage de la lecture. Il serait donc intéressant de mener une étude en langue française, auprès d'une population de TDA/H bons lecteurs, faibles lecteurs et dyslexiques, pour pointer les déficits exécutifs (planification, flexibilité, mémoire de travail, inhibition) propre à chaque sous-groupe.

Nous avons été confronté dans cette étude, à la difficulté d'avoir l'assentiment des enseignants pour remplir nos questionnaires.

L'évaluation en milieu naturel est riche en renseignements sur le comportement et le fonctionnement de l'enfant. En France, nous sommes confronté à des difficultés lorsqu'il s'agit d'intégrer une classe pour procéder à une observation directe ou lorsqu'il s'agit de faire remplir des questionnaires aux enseignants. Pourtant, ce type de données permet d'améliorer les techniques de remédiation et de rééducation. De plus, la loi de 2005 sur le handicap vise à inclure les enfants présentant un handicap en milieu scolaire normal. Qu'en est-il de la réussite de cette inclusion si enseignants et professionnels de santé ne peuvent pas travailler de concert ? Il semble essentiel d'informer les enseignants quant à l'importance de leurs observations et de sensibiliser l'éducation nationale à cette problématique. L'observation directe au sein d'une classe ainsi que l'implication des enseignants dans l'évaluation, est déjà monnaie courante au Canada et aux Etats-Unis.

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'influence de la situation d'évaluation sur les performances d'enfants TDA/H et d'explicitier le lien entre lecture, attention et fonctions exécutives.

Tout d'abord, nos résultats ont permis de mettre en évidence que l'outil d'évaluation attentionnelle « la classe virtuelle », sollicite les capacités de résistance aux distracteurs mais qu'il ne met pas en jeu des capacités attentionnelles comme peut le faire la situation d'apprentissage en classe. Les résultats préliminaires de l'étude de N. Piat, indiquent qu'en population saine, les performances à la classe virtuelle sont corrélées aux performances d'attention soutenue et de distractibilité de KITAP. Nous pensons donc que l'environnement virtuel ne sollicite pas les mêmes processus cognitifs en population TDA/H et en population saine. La validité écologique d'un outil ne repose pas sur sa seule capacité à reproduire un environnement du quotidien.

Ensuite, nos résultats indiquent que les mesures réalisées en modalité expérimentale correspondent à celles mises en jeu en situation de classe. Il existe donc actuellement des tests attentionnels permettant d'évaluer des processus identiques à ceux mis en situation naturelle d'apprentissage.

Enfin, nous avons pointé le lien étroit qui existe entre le temps de réaction aux épreuves d'attention et le niveau de lecture. Les futures recherches devraient s'intéresser à cette intrication en évaluant l'impact de l'amélioration des temps de réaction aux tâches attentionnelles sur le niveau de lecture.

La loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances a instauré l'inclusion en classe de tout enfant ou adolescent porteur d'un handicap. Suite à notre étude, nous pouvons affirmer qu'il reste encore beaucoup de chemin à faire pour optimiser les échanges entre enseignants et professionnels de santé. Actuellement, le TDA/H touche un à deux enfants par classe. Les enseignants ont donc besoin d'être informés sur ce trouble et sur le fonctionnement cognitif et comportemental de ces enfants. Il nous paraît essentiel de sensibiliser les enseignants au rôle qu'ils ont à jouer dans la compréhension de ce trouble. Grâce aux informations ainsi recueillies, des nouvelles techniques de rééducation et de

remédiation pourront être pensées, ce qui aidera les enfants TDA/H dans leurs apprentissages mais aussi les enseignants dans l'accueil de ces enfants au sein de leur classe.

BIBLIOGRAPHIE

1. ACHENBACH T.M., MC CONAUGHY S.H. (1987), Empirically based assessment of child and adolescent psychopathology : Practical implications, Newbury Park, CA : Sage
2. ACHENBACH T. M. (1991). Manual for the Child Behavior Checklist/4-18 and 1991 profile. Burlington, VT: University of Vermont Department of Psychiatry.
3. ADAMS R., FINN P., MOES E., FLANNERY K., RIZZO A. A. (2009), Distractibility in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) : the virtual reality classroom, *Child Neuropsychology*, 15 : 120-135
4. ALBARET M. (2005), *Pour aller plus loin*, dans : L'Hyperactivité en débat, érès, p. 127-148.
5. ALLAIN P., LE GALL D. (2008), Approche théorique des fonctions exécutives, dans *Fonctions exécutives pathologies neurologiques et psychiatriques : évaluation en pratique clinique*, Solal, 9-30
6. ALTEMEIER L. E., ABBOTT R. D., BERNINGER V. W. (2008), Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 30 (5) : 588–606.
7. ANDERSON V. (1998), Assessing executive functions in children : Biological, psychological, and developmental considerations, *Neuropsychological Rehabilitation*, 8, 319-349
8. ANS B., CARBONNEL S., VALDOIS S. (1998), A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105(4), 678-723.
9. APA (AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION) (1986), Guidelines for Computer-based Tests and Interpretations. Washington, DC
10. ATKINS M. S., PELHAM W. E., LICHT M. H. (1985), A comparison of objective classroom measures and teacher ratings of attention deficit disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 13, 155-167.

11. AZOUVI P., COUILLET J., AGAR N. (1998), Troubles de l'attention après un traumatisme crânien sévère : aspects théoriques et rééducation, *Revue de Neuropsychologie*, Vol.8 (1), 125-154
12. BADDELEY A.D., HITCH G. (1974), *Working memory*, dans: Recent advances in learning and motivation, New York: Academic Press, 8, 47-90
13. BADDELEY A.D. (1986), *Working memory*, Oxford: University Press
14. BADDELEY A.D. (1996), *Exploring the Central Executive*, dans: The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A 49, 1: 5–28.
15. BADDELEY A. D. (1986), *Working Memory*, Oxford: Oxford University Press
16. BALLARD J. C. (1996), Computerised assessment of sustained attention: A review of factors affecting vigilance performance, *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 18 (6), 843-863
17. BARKLEY R.A. (1981), *Hyperactive children : a handbook for diagnosis and treatment*, New York : Guilford
18. BARKLEY R. A., EDELBROCK C. S. (1987), Assessing situational variation in children's problem behaviors : the home and school situations questionnaires, R.J. Prinz (Ed.), *Advances in behavioral assessment of children and families*, vol 3, pp 157-176, Greenwich, CT : JAI
19. BARKLEY R.A. (1991), The ecological validity of laboratory and analogue assessment methods of ADHD symptoms, *Journal of abnormal child psychology*, 19, 149-178
20. BARKLEY R. A., GRODZINSKY G., DUPAUL G. J. (1992), Frontal lobe functions in attention deficit disorder with and without hyperactivity : a review and research report, *Journal of abnormal child psychology*, 20 (2), 163-188
21. BARKLEY R. A. (1997), Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD, *Psychological Bulletin* 121 (1): 65–94.
22. BELANGER S., VANASSE M., BELIVEAU M.-C. et al. (2008), Le trouble de déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, Editions du CHU Sainte-Justine, Univ. de Montréal.

23. BENTAL B. et TIROSH E., (2007), The relationship between attention, executive functions and reading domain abilities in attention deficit hyperactivity disorder and reading disorder: a comparative study, *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 48 (5), pp 455–463
24. BERQUIN P. (2005), *Le trouble déficitaire d'attention avec hyperactivité (TDA/H)*, dans : *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement*, Solal, 131-147.
25. BETTS J., McKAY J., MARUFF P., ANDERSON V. (2006), The development of sustained attention in children : the effect of age and task load, *Child Neuropsychology*, 12 : 205-221
26. BIOULAC S. (2011), *TDA/H et nouvelles technologies de l'information et de la communication : jeux vidéo, réalité virtuelle et performances*, Thèse de doctorat, Spécialité Neurosciences, Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
27. BLAIR C., ZELAZO P. D., GREENBERG M. T. (2005), The measurement of executive function in early childhood, *Developmental Neuropsychology*, 28 (2), 561-571
28. BOND C. F., TITUS L. J. (1983), Social facilitation : a meta analysis of 241 studies, *Psychological Bulletin*, 94, 2, 265-292
29. BOUCHARD M.E., FITZPATRICK E. M., OLDS J. (2009), Analyse psychométrique d'outils d'évaluation utilisés auprès des enfants francophones, *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie* - Vol. 33 (3)
30. BOUJON C., QUAIREAU C. (1997), *Attention et réussite scolaire*, Dunod
31. BOUJON C., GAUX C., GREFF E., IRALDE L., et al. (2004), *Les apprentissages scolaires*, Bréal
32. BOULC'H L., GAUX C., BOUJON C. (2007) Implication des fonctions exécutives dans le décodage en lecture : étude comparative entre normolecteurs et faibles lecteurs de CE2, *Psychologie française*, 52, 71-87
33. BOUVARD M. (2008), *Echelles et questionnaires d'évaluation chez l'enfant et l'adolescent*, volume 2, Masson.
34. BRIED C. (1994), *Les tests et les derives*, Glossa, n°41, pp 46-48

35. BRIN F., COURRIER C., LEDERLE E., MASY V. (2004), Dictionnaire d'orthophonie, Ortho Edition
36. BROADBENT D.E (1958), Cognition. Théories et applications. Bruxelles : DeBoeck Université, p. 16-17 & 71-74.
37. BRONSELAER D. (2010), Réussir à l'école, Labor Education, Namur.
38. BROWN T. E. (1999), Does ADHD diagnosis require impulsivity-hyperactivity ? A response to Gordon and Barkley, ADHD Report
39. BURGESS P. W., SHALLICE T. (1996), Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 34, 263–273
40. CAMUS J.F. (1996), La psychologie cognitive de l'attention, Armand Colin.
41. CAMUS J.F. (1997), *Les réseaux attentionnels neurocérébraux* dans : Attention et contrôle cognitif, PU Rouen, 51-70
42. CAMUS J.F. (2003), L'attention et ses modèles, dans : L'attention, aspects théoriques, *Psychologie française*, 48 (1), p.16
43. CASTEL C., PECH-GEORGEL C., GEORGE F., ZIEGLER J. (2008), Lien entre dénomination rapide et lecture chez les enfants dyslexiques, *L'année psychologique*, 108, 395-422
44. CATROPPA C., ANDERSON V. (1999), Attentional skills in the acute phase following pediatric traumatic brain injury. *Child Neuropsychology*, 5(4), 251–264.
45. CATTELL J.M.K. (1890), Mental tests and measurements, *Mind*, 15, 373-381
46. CHAN C.K. R., SHUM D., TOULOPOULOU T., CHEN E. Y.H. (2008), Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues, *Archives of clinical neuropsychology*, 23(2), 203-216
47. CHRISTOPHER M. E., MIYAKE A., KEENAN J., PENNINGTON et al. (2012), Predicting word reading and comprehension with executive function and speed measures

across development : a latent variable analysis, *Journal of experimental psychology : general*, p1-19

48. COLLETTE F., ANDRES P., VAN DER LINDEN M. (1999), *Lobes frontaux et mémoire de travail*, dans : *Neuropsychologies des lobes frontaux*, Solal, pp 89-114

49. COLLETTE F. (2004), *Exploration des fonctions exécutives par imagerie cérébrale*, dans : *Neuropsychologie des fonctions exécutives*, Solal, pp 25-51

50. COLTHEART M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Ed.), *Strategies of information processing*. New York : Academic Press.

51. CONNERS C.K., PARKER J. D., SITARENIOS G., EPSTEIN J. N. (1998), The revised Conners' Parent Rating Scale (CPRS-R): factor structure, reliability, and criterion validity. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 26:257–268.

52. CONNERS C.K., SITARENIOS G., PARKER J. D., EPSTEIN J. N. (1998), Revision and restandardization of the Conners Teacher Rating Scale (CTRS-R): factor structure, reliability, and criterion validity. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 26:279–291.

53. CONNERS C.K. et MHS Staff (2000), *Conners' Continuous Performance Test II: Computer Program for Windows Technical Guide and Software Manual*. North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems.

54. CONTENT A., 2012, Les causes des troubles d'acquisition du langage écrit, *A.N.A.E.*, 116 : 21-27

55. COQUET F. (2000), Essai de la modélisation de la démarche du bilan orthophonique, *Glossa*, n°74, pp 38-42

56. COWAN N. (1995), Verbal working memory : a view with a room, *American Journal of Psychology*, 108, 123-155

57. DANE A.V., SCHACHAR R.J., TANNOCK R. (2000), Does actigraphy differentiate ADHD subtypes in a clinical research setting ?, *Journal of the american academy of child and adolescent psychiatry*, 39 : 752-60

58. DE AGOSTINI M., KREMIN H., CURT F., DELLATOLAS G. (1996), Immediate Memory in Children aged 3 to 8, ANAE, 36, 4-10.
59. DEHAENE S. (2003), Les bases cérébrales d'une activité culturelle : la lecture, dans Gènes et Culture, Odile Jacob, pp 187-199
60. DEHAENE S. (2007), Les neurones de la lecture, ed. Odile Jacob.
61. DE JONG C.G.W., VAN DE VOORDE S., ROEYERS H., RAYMAEKERS R., OOSTERLAAN J., SERGEANT J. (2009), How Distinctive are ADHD and RD ? Results of a Double Dissociation Study, J Abnorm Child Psychol (2009) 37:1007–1017
62. DE LANDSHEERE G. (1991), dans : Dictionnaire de Psychologie, PUF
63. DELTOUR J. J. (2000), Analyse de corpus et évaluation standardisée du langage de l'enfant : dilemme ou complémentarité ? Glossa, n°72, pp 4-18
64. DEMONT E., BOTZUNG A. (2003), Contribution de la conscience phonologique et de la mémoire de travail aux difficultés en lecture : étude auprès d'enfants dyslexiques et apprentis lecteurs, L'année psychologique, 103 (3), pp 377-409
65. DEMONT E., GOMBERT J.E. (2004), L'apprentissage de la lecture : évolution des procédures et apprentissage implicite, Enfance, Vol. 56, p. 245-257
66. DEMPSTER F.N. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. Psychological Bulletin, 89, 63-100.
67. DENCKLA M.B., RUDEL R.G. (1976a). Naming of objects by dyslexic and other learning-disabled children. Brain and Language, 3, 1-15.
68. DENCKLA M.B., RUDEL R.G. (1976b). Rapid automatized naming (R.A.N.): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. Neuropsychologia, 14, 471-479.
69. DEUTSCH J. A., DEUTSCH, D. (1963), Attention : Some theoretical considerations. Paris: Armand Colin

70. DIAMOND A., KIRKHAM N., AMSO D. (2002), Conditions under which young children can hold two rules in mind and inhibit a prepotent response, *Developmental Psychology*, 38 (3) 352-362
71. DUPAUL G.J., BARKLEY R.A. (1992), Situational variability of attention problems : psychometric properties of the revised home and school situations questionnaires, *Journal of clinical child psychopathology*, vol. 21 (2), 178-188
72. DURSTON S., THOMAS K. M., YANG Y., ULUG A., ZIMMERMANN R., CASEY J.B. (2002), A neural basis for the development of inhibitory control, *Developmental Science*, 5 (4), pp F9-F16
73. DYKERMAN R., ACKERMAN P. (1991). ADD and specific reading disability: Separate but often overlapping disorders. *Journal of learning Disabilities*, 24, 96-103.
74. ECALLE J., MAGNAN A., (2007). *L'apprentissage de la lecture et ses difficultés*, Dunod
75. EDWARDS M. C., GARDNER E. S., CHELONIS J. J., et al. (2007), Estimates of the Validity and Utility of the Conners' Continuous Performance Test in the Assessment of Inattentive and/or Hyperactive-Impulsive Behaviors in Children, *J Abnorm Child Psychol* 35:393-404
76. EMSLIE H., WILSON F. C., BURDEN V., NIMMO-SMITH I., WILSON B. A. (2003). *Behavioural Assessment of Dysexecutive Syndrome for Children (BADS-C)*, Oxford: Pearson.
77. EPSTEIN J.N, ERKANLI A., CONNERS C. K., KLARIC J., COSTELLO J. E., ANGOLD A. (2003), Relations between continuous performance test performance measures and ADHD behaviors, *Journal of abnormal child psychology*, 31 (5), 543-554
78. EUSTACHE F. et al. (2008), « Cahier couleur », dans *Traité de neuropsychologie Clinique De Boeck Université « Neurosciences & cognition »*, p. i-xviii.
79. FARAONE S.V., BIEDERMAN J., LEHMAN B. K., SPENCER T., NORMAN D, et al. (1993) Intellectual performance and school failure in children with attention deficit hyperactivity disorder and in their siblings, *Journal of Abnormal Psychology* 102, n°4 : 616-623.

80. FIEBACH C. J., FRIEDERICI A. D., MULLER K., VON CRAMON D. Y.,HERNANDEZ A. E. (2003), Distinct brain representations for early and late learned words. *Neuroimage*, 19(4), 1627-1637.
81. FLESSAS J., LUSSIER F. (1995), Epreuve de simultanéité verbale : les styles cognitifs en quatre quadrants, Montréal : service des publications de l'Hôpital Ste-Justine.
82. FUCHS P. MOREAU G., BURKHARDT G.-M., COQUILLART. S. (2006), Le traité de la réalité virtuelle, vol.2 : l'interfaçage, l'immersion et l'interaction en environnement naturel, Edition Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris
83. FRANZEN M.D., WILHELM K.L. (1996), Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychological assessment, dans : *Ecological Validity of Neuropsychological Testing*. Delray Beach, FL: GR Press/St. Lucie Press : 91–112.
84. FRITH U. (1985), *Beneath the surface of developmental dyslexia*, in Surface dyslexia, p. 301-330, Londres : Erlbaum
85. FUSTER J. (1997), The prefrontal cortex, Raven Press.
86. FUSTER J. (2002), Frontal lobe and cognitive development, *Journal of neurocytology*, 31 (3-5), pp 375-385.
87. GALABURDA AM, SHERMAN GF, ROSEN GD, ABOITIZ F, GESCHWIND N. (1985), Developmental Dyslexia : four consecutive patients with cortical anomalies, *Ann Neurol*, 18 : 222-233
88. GAONAC'H D., PROSS N. (2005), *Le développement de la mémoire de travail*, dans : Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement, Solal, 185-203
89. GAONAC'H D. et FRADET A. (2003), *La mémoire de travail : développement et implication dans les activités cognitives*, dans : Les sciences cognitives et l'école, Puf, p. 91-150
90. GERHARD V. et LEPAUL C. (2000), Du choix et de l'utilisation des tests dans la pratique orthophonique libérale, Mémoire d'orthophonie, Nancy 1

91. GHELANI K., SIDHU R., JAIN U., TANNOCK R. (2004), Reading comprehension and reading related abilities in adolescents with reading disabilities and attention-deficit/hyperactivity disorder, *Dyslexia* 10 (4), pp 364-384
92. GIOIA G.A., ISQUITH P.K., GUY S.C., KENWORTHY L. (2000). Behavior Rating Inventory of Executive Function. Odessa, FL: Psychological Assessment Ressources.
93. GODEFROY O. (2003), Frontal syndrome and disorders of executive functions, *Journal of neurology*, 250 : 1-6
94. GRANT D. A., BERG E. (1948), A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 404-411.
95. GRUMBACH A. (2004), Réflexion sur le virtuel, ses implications cognitives, ses réalisations artistiques, GET / ENST Paris
96. GUASTAVINO (2009), *Validité écologique des dispositifs expérimentaux* dans : le sentir et le dire : Concepts et méthodes en psychologie et linguistique cognitives, l'harmattan, chap. 9
97. GUAY M-C, LAGEIX P., PARENT V. (2006), Proposition d'une démarche évaluative du TDA/H, dans *Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité : soigner, éduquer, surtout valoriser*, p 2-16, Presse de l'université du Québec
98. HACQUES A. (2009), Evaluation des fonctions exécutives dans le TDA/H, Mémoire pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste, Université Victor Segalen, Bordeaux 2.
99. HADDOU M. (1999), Tests et évaluation de l'intelligence, Flammarion, 126 p.
100. HAPPANEY K., ZELAZO P., STUSS D.T. (2004), Development of orbitofrontal function : current themes and future directions, *Brain Cognition*, 55 (1) : 1-10

101. HARRIS M., COLTHEART M. (1986), *Language processing in children and adults : an introduction*, London : Routledge & Kegan
102. HERNANDEZ M.T., SAUERWEIN H.C. et al. (2002), Deficits in executive functions and motor coordination in children with frontal lobe epilepsy, *Neuropsychologia*, 40, 384-400
103. HUTEAU M., LAUTREY J. (2003), *Evaluer l'intelligence*, Psychométrie cognitive, PUF
104. HUTEAU M., LAUTREY J. (2006), *Les tests d'intelligence*, Editions La découverte, Paris
105. JACQUIER –ROUX M., LEQUETTE C., POUGET G., VALDOIS S., ZORMAN M. (2010), *Batterie Analytique du Langage Ecrit*, Groupe Cogni-Sciences, Laboratoire de psychologie et neuro-cognition, Grenoble.
106. JAMES W. (1890), *Principles of psychology*, London : Macmillan
107. JANVIER B., TESTU F. (2005), Développement des fluctuations journalières de l'attention chez des élèves de 4 à 11 ans, *Enfance*, Vol. 57, p. 155-170
108. JOBARD G., CRIVELL P., TZOURIO-MAZOYER N. (2003), Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693-712.
109. JORF (Journal officiel de la République française), loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées.
110. KAHNEMAN D. (1973), *Attention and Effort*, Prentice-Hall Inc.
111. KAUFMAN A. S., KAUFMAN N. L. (2007), *K-Classic*, édition des ECPA.
112. KAUFMANN L. , ZIEREN N., S. ZOTTER, D. KARALL, S SCHOLL BÜRG et al. (2010), Predictive validity of attentional functions in differentiating children with and without ADHD: a componential analysis, *Developmental Medicine & Child Neurology* Volume 52, Issue 4, pages 371–378, April 2010

113. KERN S. (2007), Le compte-rendu parental comme méthode d'évaluation du développement langagier précoce, *Rééducations orthophoniques*, n°231, 139-153
114. KESSEN W. (1965), *The child*, London : Wiley
115. KLENBERG L., KORKMAN M. (2001) Differential development of attention and executive functions in 3- to 12- year olds finnish children, *Developmental Neuropsychology*, 20 (1), 407-428
116. KLINGER E. (2006), *Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux*, Thèse informatique et réseau, Telecom Paris.
117. KLINGER E., CHEMIN I., LEBRETON S., MARIE RM (2006), Virtual action planning in Parkinson's disease : a control study, *Cyberpsychology and behavior*, 9 (3) : 342-347
118. KLINGER E., CHEMIN I., LEBRETON S., MARIE RM. (2004) *A Virtual Supermarket to Assess Cognitive Planning*, Interactive Media Institute, San Diego, CA.
119. KLINGER E., MARIE R.M., FUCHS P. (2008), *Réalités virtuelles et sciences cognitive : application en neuropsychologie et psychiatrie*, *Cognito*, 3(2), 1-31
120. KONRAD K., GAUGGEL S., MANZ A., SCHÖLL M. (2000), Lack of inhibition : a motivational deficit in children with ADHD and children with TBI, *Chil Neuropsychology*, 6 (4), 286-296
121. LABERGE D., SAMUEL S.J. (1974). Toward a theory of automatic information processing in reading, *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.
122. LABERGE D. (1995), *Attentional processing*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
123. LABERGE D. (1998), L'attention comme intensification de l'activité corticale, *Revue de neuropsychologie*, 8, 53-81
124. LANDMANN C. (2007), *Le cortex préfrontal et la dopamine striatale dans l'apprentissage guidé par la récompense*, Thèse de doctorat de l'université Paris 6.

125. LAWRENCE V., HOUGHTON S., TANNOCK R. et al. (2002), ADHD outside the laboratory : boy's executive function performance on tasks in videogame play and on a visit to the zoo, *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30 : 447-62
126. LECENDREUX M., KONAFAL E., TOUZIN M. (2003), L'hyperactivité T.D.A.H., Solar.
127. LECENDREUX M., KONAFAL E., FARAONE S.V. (2011), Prevalence of attention deficit hyperactivity disorder and associated features among children in France, *J Atten Disord.*; 15(6):516-24.
128. LECHEVALIER B., EUSTACHE F., VIADER F. (2008), *Traité de neuropsychologie clinique*, De Boeck Supérieur.
129. LECONTE-LAMBERT C. (1991), *Les rythmicités de l'effcience attentionnelle : apports théoriques et réflexions pratiques*, Université de Lille 3, Imprimerie nationale des Thèses, Lille.
130. LECONTE-LAMBERT C. (1994), *Fonctionnement attentionnel et chronopsychologie : quelques données actuelles chez l'enfant de maternelle et primaire*, *Enfance*. Tome 47 n°4, pp. 408-414.
131. LE GALL D., ALLAIN P. (2001), *Applications des techniques de réalité virtuelle à la neuropsychologie clinique*, *Champ psychosomatique*, 22 : 25-38
132. LELOUP G. (2007), *De la nécessité d'un cadre méthodologique d'évaluation du langage oral*, *Rééducation orthophonique*, n°231, p 11-25
133. LE THIEC F., JOKIC C., ENOT-JOYEUX F., DURAND M., et al. (1999), *Evaluation écologique des fonctions exécutives chez les traumatisés crâniens graves : pour une meilleure approche du handicap*, *Ann Réadaptation Med Phys*, 42 : 1-18
134. LHETO J.E., UUSITALO A.K. (2006). Rule detection in preschool-aged children. *European Journal of Developmental Psychology*, 3(3), 209-221.
135. LLORENTE A.N., WILLIAMS J., SATZ, P. et D'ELIA L.F. (2003), *Children's Color Trails Test: Professional Manual*. Lutz: Psychological Assessment Ressources.

136. LORGE I., FOX D., DAVITZ J., BRENNER M. (1958), A survey of studies contrasting the quality of group performance and individual, *Psychological Bulletin*, 55 , 6, 338-372.
137. LUCIANA M., NELSON C. A. (1998), The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four to eighty-year-old children, *Neuropsychologia*, 36 : 273-293
138. LUCIANA M. (2003), The neural and functional development of human prefrontal cortex, in : *The cognitive neuroscience of development*, Psychology Press, p 157-174
139. LURIA A.R. (1967), Les fonctions corticales supérieures de l'homme, Presses universitaires de France.
140. LURIA A.R., TSVETKOVA L.S. (1967), Les troubles de la résolution de problèmes, Paris, Gauthier-Villars.
141. LURIA A. (1970), The functional organisation of the brain, *Scientific American*, 222, 66-78
142. LURIA A. (1973) The working brain. An introduction to neuropsychology. New York: Penguin Books.
143. LUSSIER F., FLESSAS J. (2009), Neuropsychologie de l'enfant : troubles développementaux et De l'apprentissage, Dunod.
144. MANLY T., ROBERTSON I. H., ANDERSON V., NIMMO-SMITH I. (1999), The test of everyday attention for children, London, United Kingdom : Batteley Brothers
145. MARTIN C., NOLIN P. (2009), La réalité virtuelle comme nouvelle approche évaluative en neuropsychologie : l'exemple de la classe virtuelle avec des enfants ayant subi un traumatisme cranio-cérébral, *A.N.A.E.*, 101 : 28-32
146. MARTIN O. (1997), La mesure de l'esprit : origines et développements de la psychométrie, 1900-1950, L'Harmattan.
147. MARZOCCHI G. M., OOSTERLAAN J., ZUDDAS A. et al. (2008), Contrasting deficits on executive functions between ADHD and reading disabled children, *Journal of child psychology and psychiatry*, 49 (5) : 543-552

148. MAZEAU M. (2003), *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant*, Masson.
149. Mc CRORY E.J., MECHELLI A., FRITH U., PRICE C.J. (2005). More than words: A common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia? *Brain*, 128, 261-267.
150. Mc GEE R. A., CLARK S. E., SYMONS D.K. (2000), Does the Conner's Continuous Performance Test aid in ADHD diagnosis ?, *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28 (5) : 415-24
151. Mc INNES A., HUMPHRIES T., HOGG- JOHNSON S., TANNOCK R. (2003). Listening comprehension and working memory are impaired in attention-deficit hyperactivity disorder irrespective of language impairment, *Journal of Abnormal Child Psychology*, 8, 640–649.
152. MEAD A. D, DRAGOW F. (1993), Equivalence of Computerized and Paper-and-Pencil Cognitive Ability Tests: A Meta-Analysis, *Psychological Bulletin*, Vol. 114, No. 3, 449-458
153. MERCIER P., FOURNIER H.D., JACOB B. (1999), *Anatomie fonctionnelle des lobes frontaux*, dans : *Neuropsychologie des lobes frontaux*, Solal, 13-31.
154. MESULAM M.M. (1981), A cortical network for directed attention and unilateral neglect, *Annals of Neurology*, 10, 309-325
155. MESULAM M.M. (1990), Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory, *Annals of Neurology*, 28, 597-613
156. MEULEMANS T. (2006), *Les fonctions exécutives : approche théorique*, dans *Fonctions exécutives et rééducation*, Masson, 1-10.
157. MICHAEL G. A., PERRIER-PALISSON D., HOMMET C. (2011), *Les tests et échelles et leur utilisation* dans : *Neuropsychologie en pratique*, Solal, 65-71
158. MILNER B. (1963), Effects of different brain lesions on card sorting: The role of the frontal lobes. *Archives of Neurology*, 9, 90–110.

159. MIYAKE A., FRIEDMAN N.P., EMERSON M. J., et al., (2000) The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks : A Latent Variable Analysis, *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
160. MORRIS N., JONES D.M. (1990), Memory updating in working memory : the role of the central executive, *British Journal of Psychology*, 8, 111-121.
161. NEISSER U. (1978), Memory : what are the important questions ? in *Memory Observed : Remembering in natural contexts*, San Francisco : W H Freeman and Co.
162. NICOLAS S, ANDRIEU B. (2005), La mesure de l’intelligence (1904-2004), conférences à la Sorbonne, L’Harmattan
163. NIGG J. T., HINSHAW S. P., HALPERIN J. M. (1996), Continuous performance test in boys with attention deficit hyperactivity disorder : Methylphenidate dose response and relations with observed behavior, *Journal of clinical child psychology*, 25 (3), 330-340
164. NORMAN D.A., SHALLICE T. (1980), *Attention to action : willed an automatic control of behavior*, dans : *Consciousness and self regulation, advances in research and theory*, Plenum Press, 1-18.
165. NORMAN, D. A., (1968) Toward a theory of memory and attention, *Psychological Review* n° 75, p. 522-536.
166. PARSONS T.D., BOWERLY T., BUCKMALTER J. G., RIZZO A.A. (2007), A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods, *Child Neuropsychology*, 13 : 363-381
167. PAYNE JM, HYMAN S.L., SHORES E.A., NORTH K.N. (2011), Assessment of executive function and attention in children with neurofibromatosis type 1: relationships between cognitive measures and real-world behavior, *Child Neuropsychology*, 17(4):313-29.
168. PELHAM Jr. G., FABIANO A., MASSETTI G. M. (2005), Evidence-Based Assessment of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents, *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology* 34, (5) 449–476.

169. PENNINGTON B.F., GROISSER D., WELSH M.C. (1993). Contrasting cognitive deficits in attention deficit hyperactivity disorder versus reading disability. *Developmental Psychology*, 29, 3, 511-523.
170. PEPIN M., LAPORTE P., M. LORANGER (2006), TIFA version 1.0, Réseau Psychotec
171. PIAGET J. (1967), *La psychologie de l'intelligence*, Armand Collin, coll. "U2"
172. PIAT N. (2012), *Évaluation des troubles attentionnels et de l'inhibition par l'intermédiaire de la réalité virtuelle chez des enfants atteints de troubles autistiques*, Master 2 sciences cognitives, Université Bordeaux Segalen.
173. PICHOT P. (1949), *Les tests mentaux*, Que sais-je, PUF
174. PIERART B. (2005), *Le langage de l'enfant : comment l'évaluer ?*, Editions De Boeck Université
175. PLAZA M., RAYNAUD S. (2007), *Dyslexie et traitement plurimodal : de l'autre côté du miroir*, *Le journal des psychologues*, 8, 251 : 31-35
176. POLLAK Y., WEISS P., RIZZO A. A., WEIZER M., et al. (2009), The utility of a continuous performances test embedded in virtual reality in measuring ADHD-related deficits.
177. PONCE C., ALCORTA M. (2011), *De l'école maternelle à l'école primaire : fluctuations journalières de l'attention*, *Enfance*, 4, 445-463
178. PONCELET M., MAJERUS S., VAN DER LINDEN M. (2009), *Traité de neuropsychologie de l'enfant*, Solal.
179. POSNER M.I., COHEN Y. (1984), Components of visual orienting, *Attention and Performance X*, 531-556 in H. Bouma & D. Bouhuis eds, London
180. POSNER M. (1990), The attention system of human brain, *Annu. Rev. Neurosci.* 13:25-42
181. POSNER M., RAICHLE M.E. (1994), *Images of mind*, New York : Scientific American Library

182. POSNER M., RAICHLE M.E. (1997), *Images of mind*, 2^{ème} édition, New York : Scientific American Library
183. PURPER-OUAKIL D., WHOL M., MICHEL G., MOUREN M.C., GORWOOD P. (2004), Variations dans l'expression clinique du trouble déficit attentionnel/hyperactivité (TDAH) : rôle du contexte, du développement et de la comorbidité thymique, *L'encéphale*, XXX : 533-9, cahier 1
184. RAPPORT M. D, J KOFLER M. J., ALDERSON R.M., TIMKO T.M., DUPAUL G.J. (2009), Variability of attention processes in ADHD: observations from the classroom , *Journal of Attention Disorders* 12 (6), 563–573.
185. RAPPORT M.D., SCANLAN S.W., DENNEY C. B., (1999), Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder and Scholastic Achievement : a model of dual developmental pathways, *Journal of child psychology and psychiatry*, 40 (8), 1169-1183
186. REBOCK G., SMITH C., PASCUALVACA D., MIRSKY A., ANTHONY B., KELLAM S ; (1997), Developmental changes in attentional performance in urban children from eight to thirteen years, *Child Neuropsychology*, 3 (1), pp 28-46
187. REVOL O., BRUN V. (2010), *Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité*, Masson.
188. RICCIO C.A ., REYNOLDS C. R., LOWE P. A. (2001), *Clinical applications of continous performance tests*, New York : John Willey & Sons
189. RIZZO A. A., BUCKWALTER J. G., BOWERLY T., VAN DER ZAAG C., HUMPHREY L., NEUMANN U. et al. (2000), The virtual classroom : a virtual environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits, *Cyberpsychology et Behavior*, 3, pp 483-4999
190. RIZZO A. A., BOWERLY T., BUCKWALTER J. G., SCHULTHEIS M. et al. (2002), Virtual environments for the assessment of attention and memory processes: the virtual classroom and office, *Proc. 4th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech.*, Veszprém, Hungary, 2002
191. ROSE F.D., BROOKS B.M., RIZZO A.A. (2005), Virtual reality in brain damage rehabilitation : review, *Cyberpsychology and Behavior*, 8(3) : 241-271

192. ROY A., GILLET P., LENOIR P. ROULIN J.-L. et LE GALL D. (2005), *Les fonctions exécutives chez l'enfant : évaluation*, dans : Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement, Solal, 149-183
193. ROY A. (2007), Fonctions exécutives chez les enfants atteints d'une neurofibromatose de type 1 : approche clinique et critique, Thèse de doctorat en psychologie, Université d'Angers.
194. ROY, ROULIN, FOURNET et al. (2012), Projet d'étude multicentrique – Groupe FEE, Université d'Angers et de Chambéry.
195. SAGVOLDEN T. (1996). The attention deficit disorder might be a reinforcement deficit disorder. In J. Georgas, M. Manthouli, E. Besevegis & A. Kokkevi (Eds.), Contemporary psychology in Europe: Theory, research and application, pp. 131-143. Goettingen: Hogrefe and Huber.
196. SAGVOLDEN T., AASE H., ZEINER P., BERGER D. (1998). Altered reinforcement mechanisms in attention-deficit / hyperactivity disorder. Behavioral Brain Research, 94, 61-71.
197. SAGVOLDEN T., SERGEANT J. A. (1998), Attention deficit/hyperactivity disorder – from brain dysfunctions to behaviour, Behavioural brain research 1-10
198. SATTLER J.M., THEYE F. (1967), Procedural, situational and interpersonal variables in individual intelligent testing, Psychological Bulletin, 68 (5), 347-360
199. SCHATZ P., BROWNDYKE J. (2002), Applications of computer-based neuropsychological assessment, The journal of head trauma rehabilitation, 17 (5): 395-410
200. SERON X., VAN DER LINDEN M., ANDRES P. (1999), *Le lobe frontal : à la recherche de ses spécificités fonctionnelles*, dans : Neuropsychologie des lobes frontaux, Solal, 33-88.
201. SEYMOUR P.H.K. (1997), Les fondations du développement orthographique et morphologique, dans Des orthographes et leurs acquisitions, Paris, Nathan, 385-403

202. SHALLICE T.,BURGESS P. (1991), Deficits in Strategy Application Following Frontal Lobe Damage in Man, *Brain* 114, n°. 2 : 727–741.
203. SHALLICE T., (1995), *Symptômes et modèles en neuropsychologie*, Puf, 413-444
204. SHALLICE T., GIAN M. MARZOCCHI S. et al. (2002) Executive Function Profile of Children With Attention Deficit Hyperactivity Disorder, *Developmental Neuropsychology*, 21 (1): 43–71.
205. SHANAHAN M. A. , PENNINGTON B. F., YERYS B. E. , SCOTT A. et al. (2006), Processing Speed Deficits in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder and Reading Disability, *Journal of abnormal child psychology*, 34,(5)
206. SHAW R., GRAYSON A., LEWIS V. (2005), Inhibition, ADHD, and computer games : the inhibitory performance of children with ADHD on computerized tasks and games, *Journal of attention disorders*, 8 : 160-8
207. SIEROFF E. (2001), Attention préparatoire : un nouveau paradigme, *Revue de neuropsychologie*, 11 (2), 283-298
208. SIEROFF E. (2002), *Sélection et préparation attentionnelle en neuropsychologie*, dans : *La neuropsychologie de l'attention*, Solal, 27-40
209. SIMOS P. G., BREIER J. I., FLETCHER J. M., FOORMAN B. R., CASTILLO E. M. et al. (2002), Brain mechanisms for reading words and pseudowords: an integrated approach. *Cereb Cortex*, 12(3), 297-305.
210. SLEATOR E. K., ULLMANN R. K. (1981), Can the physician diagnose hyperactivity in the office ?, *Pediatrics*, vol. 67 (1), 13- 1
211. SLUSAREK M., VELLING S., BUNK D., EGGERS C. (2001), Motivational effect on inhibitory control in children with ADHD, *J American Academy of child and adolescence psychiatry*, 40 : 355-363
212. SOBEH J. et SPIJKERS W. (2011), Development of attention functions in 5- to 11-year-old Arab children as measured by the German Test Battery of Attention Performance (KITAP): A pilot study from Syria, *Child Neuropsychology* 18 (2)

213. SONUGA-BARKE E. J. (2002), Psychological heterogeneity in ADHD- A dual pathway model of behavior and cognition, *Behavior Brain Research*, 130 : 29-36
214. SOWELL ER, THOMSON PM, COLIN JH, JERNIGAN TL, TOGA AW et al. (1999), In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience*, 2 : 859-861
215. SPACE L. G. (1981), The computer as psychometrician, *Behavior Research Methods & Instrumentation* Vol. 13 (4), 595-606
216. SPRENGER-CHAROLLES L., COLLE P. (2003), *Lecture et dyslexie*, Dunod.
217. STANKE B. (2009), Thèse de doctorat de sciences biomédicales, Facteurs cognitifs liés à l'acquisition du lexique orthographique, Université de Montréal
218. STERNBERGER L. (2006), *Interaction en réalité virtuelle*, PhD thesis, Université Louis Pasteur de Strasbourg 1
219. STROOP J. R. (1935), Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology* , 6, 643-661
220. STURM et al. (1999), Functional anatomy of intrinsic alertness : evidence for a fronto-parietal-thalamic-brainstem network in the right hemisphere, *Neuropsychologia*, 37, 797-805
221. STUSS D. T., ALEXANDER M.P. (2000), Executive functions and the frontal lobes : a conceptual view, *Psychological Research*, 63, 289-298
222. SWANSON J. M., SANSDMAN C. A., DEURSCH C., BAREN M. (1983), Methylphenidate hydrochloride given with or before breakfast:I. Behavioral, cognitive, and electrophysiological effects. *Pediatrics*, 72, 49-55.
223. SWANSON J. M. (1992), *School-based assessments and interventions for ADD students*. K.C. Publishing; Irvine, CA
224. SWANSON H. L. (1999), Reading comprehension and working memory in learning-disabled readers: Is the phonological loop more important than the executive system?, *Journal of Experimental Child Psychology* 72, 1-31

225. SWANSON H. L., ASHBAKER M. H. (2000), Working Memory, Short-termMemory, Speech Rate, Word Recognition and Reading Comprehension in Learning Disabled Readers: Does the Executive System Have a Role?, *Intelligence* (28) 1, 1-30
226. SWANSON J. M., KRAEMER H.C., HINSHAW S.P., ARNOLD L.E., CONNERS C.K. et al. (2001) Clinical relevance of the primary findings of the MTA: success rates based on severity of ADHD and ODD symptoms at the end of treatment. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*; 40:168-179.
227. TESTU F. (1993), *Chronopsychologie et rythmes scolaires*, Paris, Masson.
228. TESTU F., BAILLE J., (1983), Fluctuations journalières et hebdomadaires dans la résolution de problèmes multiplicatifs par les élèves dy CM2, *L'année Psychologique*, 109-120
229. TESTU F., ALAPHILIPPE D., CHASSEIGNE G., CHEZE M. T. (1995), Variations journalières de l'activité intellectuelle d'enfants de 10-11 ans en fonction de conditions psychosociologiques de passation d'épreuves, *L'année psychologique*, vol. 95, n°2. pp. 247-266.
230. TESTU F. (2000), *Chronopsychologie et rythmes scolaires*, Paris, Masson (réédition).
231. THOMAS J., WILLEMS G. (2001), *Troubles de l'attention, impulsivité et hyperactivité chez l'enfant : Approche neurocognitive*, 2^{ème} édition, Masson
232. THOMAS J., VAZ-CERNIGLIA C., WILLEMS G. (2007), *Trouble de l'attention chez l'enfant : Prise en charge psychologique*, Masson
233. TOUZIN M. (1999), *L'enfant hyperactif, les apprentissages et sa rééducation*, Glossa, 67 : 16-25
234. TOUZIN M. (2004), *Hyperactivité et troubles des apprentissages*, A.N.A.E., 79, 279-280
235. TREISMAN A.M., GELADE G.(1969) A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology* n° 12, p. 97-136.

236. TROCCAZ J. (2001), L'ordinateur dans la pratique de soins : de la chirurgie au soin psychologique assistés par ordinateur ,Champ psychosomatique, 22, p. 11-24.
237. VALDOIS S. (2001), *Neuropsychologie cognitive :des pathologies acquises aux pathologies développementales*, dans : Les méthodes de la neuropsychologie, De Boeck Université, 237-254
238. VALDOIS S. (2010), Evaluation des difficultés d'apprentissage de la lecture, Revue française de linguistique appliquée, Vol. XV, p. 89-103.
239. VAN DER LINDEN M., COLLETTE F., SALMON E. et al. (1999), The neural correlates of updating information in verbal working memory, Memory, 7 (5-6), pp 549-560.
240. VANNETZEL L. (2008), Conférence de presse d'A. et N. Kaufman à Paris : présentation du K-ABC-II et du K- Classic, Bulletin de psychologie, 61 (5) : 497-498
241. VANTALON V. (2005), *Evaluation diagnostique*, dans L'hyperactivité de l'enfant, p.65-78 John Libbey Eurotext, Paris
242. VAN ZOMEREN A.H., BROUWER W.H. (1994), Clinical neuropsychology of attention, New York : Oxford University Press
243. VAZ-CERNIGLIA C. (2007), Conduites des tests psychologiques, dans Troubles de l'attention chez l'enfant, Prise en charge psychologique, pp 41-51, Masson
244. WELLS K.C., EPSTEIN J.N., HINSHAW S.P., CONNERS C.K., KLARIC J. et al. (2000), Parenting and family stress treatment outcomes in attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): An empirical analysis in the MTA study. Journal of Abnormal Child Psychology, 28, 543-553.
245. WELSH, M. C., PENNINGTON, B. F. et GROISSER, D. B. (1991). A normative study of executive function: a window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7, 131–149.

246. WILLCUTT E. G., PENNINGTON B. F., BOADA R., OGLINE J. S. et al. (2001), A comparison of the cognitive deficits in reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of abnormal psychology*, 110(1),157-172.
247. WILLCUTT E. G., PENNINGTON B. F. (2000). Comorbidity of reading disability and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorders: differences by genders and subtype, *Journal of learning disabilities*, 33(2), 179-191.
248. WODKA E. L., MAHONE M., BLANKNER J. G. et al. (2007), Evidence that response inhibition is a primary deficit in ADHD, *Journal of clinical experimental neuropsychology*, 29 (4) : 345-356
249. ZAZZO R. (1996), test et qi : l'intelligence en question, *Enfance*, tome 49 vol 2, pp 113-126
250. ZENTALL SS. (1985), A context for hyperactivity, in *Advances in learning disabilities*, Greenwich, CT : JAI Press, vol.4, 273-343
251. ZESIGER P. (2009), Les troubles spécifiques du développement du langage, dans : *Traité de Neuropsychologie de l'enfant*, Solal, pp 97-134
252. ZIMMERMANN P., GONDAN M., FIMM B. (2002), Children version test-battery of attention performances (KITAP), Würselen, Germany, Psytest

ANNEXES

Annexe 1 :

Présentation du protocole à l'attention des parents. Coupon de consentement parental

Madame, Monsieur,

Votre enfant est reçu dans le service du Professeur Bouvard pour des consultations et des évaluations.

Dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie, nous réalisons actuellement une recherche pour déterminer l'influence des situations d'évaluation sur les performances de l'enfant TDA/H. Pour cela, nous avons élaboré un protocole d'évaluation de l'attention et de la lecture dans trois contextes différents :

- En situation naturelle (questionnaires remplis par l'enseignant et les parents)
- En situation d'évaluation avec un examinateur (protocole d'évaluation informatisé ou test papier-crayon)
- En situation virtuelle (grâce à un visiocasque, l'enfant est immergé dans un monde virtuel en 3 D)

L'objectif de l'étude est d'avoir une compréhension plus fine du fonctionnement cognitif de ces enfants afin d'améliorer nos techniques de prise en charge et nos projets thérapeutiques.

Nous vous proposons donc d'inclure votre enfant dans ce travail de recherche qui se déroulera au Centre de Consultations Spécialisées, au sein de l'hôpital Charles Perrens du mois de novembre 2011 au mois de mars 2012. Ce protocole d'évaluation nécessite une rencontre de 2 heures, durant laquelle nous évaluerons les performances attentionnelles et le niveau de lecture de votre enfant dans différentes situations comme évoqué ci-dessus. Pendant la passation du protocole, vous serez invités à remplir deux questionnaires que nous vous remettrons. L'enseignant de votre enfant sera également sollicité pour remplir un questionnaire attentionnel et un questionnaire évaluant le niveau de lecture.

Vous êtes libres de refuser que votre enfant participe à cette recherche. Toutefois, si vous acceptez, sachez que les données concernant votre enfant resteront anonymes et que vous aurez un compte rendu des résultats de votre enfant à la fin de l'étude.

Nous nous permettons de vous contacter afin de vous proposer la participation de votre enfant à cette étude et si vous êtes d'accord pour vous proposer une date de rendez-vous.

En vous remerciant de l'intérêt porté à cette étude, nous vous prions de croire, Madame, Monsieur, à l'expression de nos salutations distinguées.

Melle FRANCOIS Jane, stagiaire orthophoniste (janefrancois33@gmail.com)

Mme ETCHEGOYHEN-FRANC Kattalin, orthophoniste

Je soussigné(e) Mr / Mme père / mère de
....., autorise mon enfant à participer au travail de
recherche décrit ci-contre.

Fait le.....à.....

Signature

Annexe 2 :
Questionnaire SKAMP pour les enseignants

SKAMP Rating Scale
Swanson, Kotkin, Agler, M-Flynn and Pelham Scale
(Version non validée en français)

Nom de l'enfant :

Classe :

Date :

Questionnaire version enseignant

Indiquez pour chaque item la réponse qui décrit le mieux l'enfant en classe durant la dernière semaine. Sélectionnez une seule réponse pour chaque item.

	Pas du tout	Un peu	Souvent	Très souvent
A des difficultés à entamer un projet d'école				
A des difficultés à maintenir sa concentration sur les tâches pendant tout le temps imparti				
A des difficultés à achever ses travaux d'école				
A des difficultés d'exactitude ou de propreté dans ses travaux d'école				
A des difficultés à participer à des activités de groupe ou des discussions en classe				
A des difficultés à faire la transition vers un nouveau sujet en classe				
A des problèmes dans ses relations avec ses compagnons de classe				
A des problèmes dans ses relations avec les intervenants (professeur, etc.)				
A des difficultés à rester calme et à se taire conformément au règlement de la classe				
A des difficultés à rester assis conformément au règlement de la classe				

Merci de votre participation.

Annexe 3 :
Cybersickness Questionnaire

Echelle des sensations corporelles provoquées par les stimulations (Hétéro-questionnaire)

Date : Environnement virtuel :

0 = signe absent 1 = signe présent mais léger 2 = signe modérément présent

3= signe sévèrement présent 4= signe très sévèrement présent

Palpitations cardiaques	0	1	2	3	4
Pression dans la poitrine	0	1	2	3	4
Faiblesse dans les bras ou les jambes	0	1	2	3	4
Tension musculaire, muscles endoloris	0	1	2	3	4
Fourmillements, picotements ou engourdissement dans certaines parties du corps	0	1	2	3	4
Faiblesse générale	0	1	2	3	4
Difficulté à respirer, respiration courte	0	1	2	3	4
Sensation de chaleur ou de froid	0	1	2	3	4
Sensation que les choses tournent	0	1	2	3	4
Points devant les yeux	0	1	2	3	4
Vision trouble ou distordue	0	1	2	3	4
Tremblements, frissons	0	1	2	3	4
Douleur dans le bas du dos	0	1	2	3	4
Transpiration excessive	0	1	2	3	4
Sensation de pression dans les oreilles	0	1	2	3	4
Vertige	0	1	2	3	4
Nausée	0	1	2	3	4
Estomac dérangé	0	1	2	3	4
Noeud dans l'estomac	0	1	2	3	4
Boule dans la gorge	0	1	2	3	4
Gorge sèche	0	1	2	3	4
Maux de tête	0	1	2	3	4
<i>Sous-total par colonne</i>					
TOTAL					

Annexe 4 :

Echelle d'évaluation du niveau de lecture et des apprentissages à destination des enseignants

EVALUATION SCOLAIRE DESTINEE AUX ENSEIGNANTS

Nom de l'enfant :

Classe :

Enseignant :

Date :

Ce questionnaire a pour objectif d'évaluer le niveau des acquisitions d'un élève en fonction de celui des autres élèves de la classe. Merci de lire les questions ci-dessous et de mettre une croix dans la case correspondant à votre appréciation.

1. Dans quel tiers de la classe situez-vous l'enfant quant à son niveau d'acquisitions scolaires?

Tiers inférieur ☐ Tiers moyen ☐ Tiers supérieur ☐

2. Dans quel tiers de la classe situez-vous l'enfant quant à son niveau de lecture (fluidité, vitesse) ?

Tiers inférieur ☐ Tiers moyen ☐ Tiers supérieur ☐

Merci pour votre précieuse aide !

Le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est l'une des pathologies les plus fréquentes en pédopsychiatrie. Le TDA/H peut s'exprimer de façon isolée ou être associé à d'autres troubles tels que le trouble spécifique des apprentissages. Malgré les études nombreuses et variées menées jusqu'à aujourd'hui, les processus cognitifs spécifiques altérés dans le TDA/H, pouvant expliquer l'hétérogénéité des performances, ne sont toujours pas mis en évidence. Cette différence est en partie due à la variation des symptômes d'un moment à l'autre de la journée mais aussi d'une situation à une autre. Les outils en réalité virtuelle, telle que la classe virtuelle, semblent être intéressants pour cerner au mieux le fonctionnement cognitif et comportemental de l'enfant TDA/H, en proposant une tâche dans un environnement familier tel que l'environnement de la classe. Les études précédentes ont prouvé la sensibilité de la classe virtuelle, mais la stabilité des performances selon la situation d'évaluation n'a pas été étudiée. C'est pourquoi nous avons proposé à un groupe de 28 enfants TDA/H un protocole d'évaluation de l'attention et de la lecture en faisant varier les modalités d'évaluation : naturelle, expérimentale et virtuelle. Au terme de notre étude, nos résultats permettent de mettre en évidence que les modalités d'évaluation naturelle et expérimentale mettent en jeu les mêmes processus cognitifs que ceux requis en situation scolaire. La classe virtuelle ne permet pas de saisir le profil cognitif et comportemental des enfants TDA/H au quotidien.

Mots clés : Réalité virtuelle, TDA/H, attention, fonctions exécutives, lecture, enfants, évaluation, fluctuation des performances.

Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) is one of the most common pathology in child psychiatry. ADHD can be isolated or associated with other disorders like specific learning disability. The attention deficit and the distractibility slow down learning process. In spite of various and numerous research on ADHD population, specific cognitive disorders which explain the differences in ADHD abilities are unknown. This is partly due to fluctuation of abilities from a moment to another during the day but also from an assessment context's to another. Virtual reality tools, such as The Virtual Classroom, can be interesting to capture cognitive and behavioral functioning in daily life environment, such as school environment. Previous research provide evidence of the sensibility of the Virtual Classroom, but the constancy of the performances between assessment situation's has not be investigated. Therefore, we proposed to 28 ADHD children sample an assessment protocol of attention and reading in three different situations : natural, experimental and virtual. Our results point out that natural and experimental assessments involve the same cognitive abilities as those required in school environment. The virtual classroom doesn't provide an image of cognitive and behavioral profile of ADHD children in their everyday life.

Key words : Virtual reality, ADHD, attention, executive function, reading, children, assessment, fluctuation of abilities.

160 pages - 252 références bibliographiques

