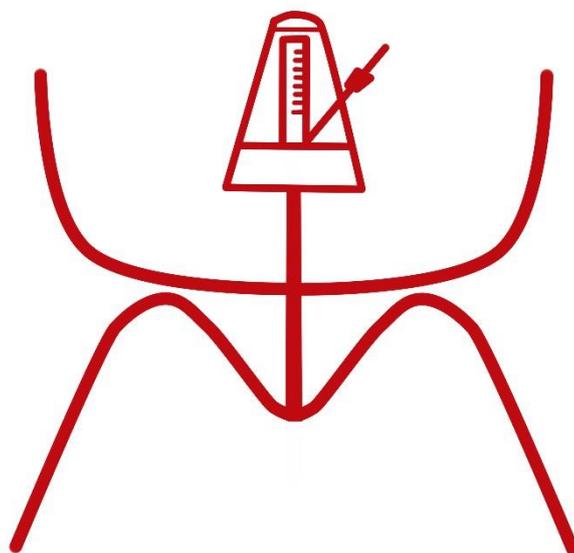




Faculté de Médecine Toulouse Rangueil
Institut de Formation en Psychomotricité

Prise en charge des troubles des processus temporels chez l'enfant avec un Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité



**Mémoire en vue de l'obtention
Du Diplôme d'Etat de Psychomotricien**

*« Le temps n'a pas tout le temps le temps de
prendre à temps le temps de nous laisser le temps de
passer le temps. »*

Pierre Desproges

Remerciements

[...]

Sommaire

Partie Théorique

Introduction.....	1
<u>I- Le Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H)</u>	2
1- Un trouble neurodéveloppemental et psychomoteur.....	2
2-Prévalence.....	4
3-Diagnostic.....	4
4-Les modèles théoriques.....	6
A) Le modèle d'Aversion du délai (1992).....	6
B) Le modèle de Barkley (1997).....	8
C) Le modèle à deux voies de Sonuga-Barke (2003).....	11
a) Cadre neurobiologique.....	12
b) Cadre neuroécologique.....	13
D) Le modèle à trois voies (2010).....	14
<u>II- Les processus temporels</u>	16
1-Description des processus temporels.....	16
A) Définition.....	16
B) La classification de Coull et Nobre (2008).....	17
C)Le rythme.....	20
2- Modèles théoriques.....	21
A) Le modèle d'horloge interne.....	21

B) Les modèles dynamiques.....	24	a) Le modèle d'espace de stockage.....	24
b) Le modèle des attentes dynamiques.....	25		
c) Le modèle de Staddon et Higa (1999).....	26		
d) Le modèle de la double clepsydre.....	26		
3-Les composants anatomiques.....	27		
A) Le cervelet.....	27		
B) Les lobes frontaux.....	28		
C) Les lobes pariétaux.....	28		
D) Les Lobes temporaux.....	29		
E) Les ganglions de la base.....	29		
F) Les réseaux neuronaux.....	30	<u>III-</u>	
<u>Liens entre les processus temporels et le TDA/H</u>	31		
1-Déficits cognitifs et processus temporels.....	31		
A) L'attention et les processus temporels.....	31		
B) Mémoire de travail et les processus temporels.....	32		
2-Déficit des processus temporels selon leur modalité.....	33		
A) Timing explicite.....	33		
B) Timing implicite.....	35		
C)Interaction entre le méthylphénidate et les processus temporels.....	37		
<u>IV- La prise en charge des déficits des processus temporels</u>	38		
1-Organisation du déroulement du temps.....	38		
2-Les exercices de remédiation cognitive.....	38		
3-Les activités rythmiques.....	39		
4-La méditation de pleine conscience.....	39		
Conclusion de la partie théorique.....	40		

Partie Pratique

<u>I- Présentation des patients</u>	42
---	----

1-Louis.....	42
2-Victor.....	46

II- Présentation du projet de prise en

<u>charge.....</u>	50
--------------------	----

1-Le métronome interactif.....	50
2- « Rhythm paradise ».....	51
3-Déplacement en rythme.....	52
4- Manipulation du chronomètre.....	52
5-Production, reproduction et estimation de durée.....	53
6- Le protocole à cas unique.....	54

III- Déroulement des séances.....

1-Le métronome interactif.....	55
2- <i>Rhythm Paradise</i>	56
3-Déplacement en rythme.....	57
4- Manipulation du chronomètre.....	57
5-Production, reproduction et estimation de durée.....	58

IV- Résultats et analyses.....

1-Louis.....	60
A) Synchronisation.....	60
B) Continuation.....	61
2-Victor.....	62
A) Synchronisation.....	62
B) Continuation.....	63

V-

<u>Discussion.....</u>	64
------------------------	----

Conclusion.....	65
-----------------	----

Bibliographie

Annexes

Introduction

Le psychomotricien est le spécialiste des troubles psychomoteurs et peut proposer une prise en charge thérapeutique pour la plupart des troubles neurodéveloppementaux.

Le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) est l'une de ces pathologies ayant la plus grande prévalence avec 3.5 à 5.6 % des enfants scolarisés qui souffriraient de TDA/H en France (HAS 2015). Aujourd'hui le psychomotricien reste un des professionnels du secteur paramédical le plus spécialisé dans la mise en place de la partie non-pharmaceutique de la prise en charge du TDA/H. Cette prise en charge va s'axer sur la triade symptomatique du TDA/H : inattention, impulsivité et hyperactivité. Mais la sémiologie du TDA/H est plus large que ces trois axes principaux, nous pouvons en particulier nous intéresser aux difficultés reliées à la perception temporelle chez ces sujets.

En effet, les troubles temporels mis en avant dans le cadre du TDA/H aux cours des dernières années viennent intensifier les obstacles quotidiens liés à leur pathologie, voire expliquer leurs difficultés. Nous pouvons retrouver chez les TDA/H des difficultés reliées à différents processus temporels qui sont de mieux en mieux définis dans la littérature scientifique.

Plusieurs auteurs ont tenté d'expliquer l'étiologie des symptômes du TDA/H à travers des modèles théoriques. Le modèle de Barkley, mettant au centre de la symptomatologie un manque d'inhibition comportementale, tente d'expliquer le comportement psychomoteur du TDA/H à travers un déficit des fonctions cognitives. Sonuga-Barke s'est plutôt intéressé au mécanisme d'aversion du délai dans un premier temps, avant de conceptualiser un modèle à deux voies regroupant ces deux premiers modèles. Aujourd'hui, un nouveau modèle intégrant les déficits temporels en tant que troisième voie permet une vision plus globale des troubles du TDA/H.

Ce mémoire va présenter un cadre théorique du TDA/H et les différents modèles qui ont émergés pour expliquer ce trouble. Nous opérerons une description des processus temporels ainsi qu'une description des modèles théoriques et anatomiques qui sous-tendent ces processus. Nous verrons ensuite de quel ordre sont les interactions entre le TDA/H et les processus temporels, pour finir sur les différentes modalités de prise en charge possible.

La partie pratique va s'axer autour de la prise en charge des processus temporels de deux patients atteints d'un TDA/H.

Partie Théorique

I- Le Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H)

1- Un trouble neurodéveloppemental et psychomoteur

Le trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) est classé dans le manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-V) comme étant un trouble neurodéveloppemental. Les troubles neurodéveloppementaux sont un groupe de pathologies ayant leurs premiers signes durant la période développementale de l'individu. Ils sont caractérisés par des déficits développementaux qui produisent des difficultés et des limitations dans les sphères personnelles, sociales, académiques et plus tard, professionnelles. Ces handicaps sont dus, dans la majorité des cas, à des retards de développement qui vont réduire les capacités cognitives, motrices, comportementales ou sensorielles.

Le TDA/H s'inscrit donc dans cette classification car c'est un trouble qui va se traduire par des capacités cognitives diminuées, notamment dans les niveaux d'attention, d'impulsivité et d'hyperactivité ce qui engendre un handicap quotidien dans les mêmes sphères que les troubles neurodéveloppementaux. De plus les premiers symptômes du TDA/H se manifestent tôt dans le développement de l'individu et vont influencer sur la trajectoire de ses apprentissages et de ses interactions avec son environnement.

Le TDA/H peut tout aussi bien être classé comme étant un trouble psychomoteur. En effet, les troubles psychomoteurs sont caractérisés par les difficultés que rencontrent l'individu pour s'adapter à son environnement, ce qui en fait des troubles situationnels. Leur mise en évidence s'effectue à travers une connaissance du développement normal pour permettre de pointer les domaines affectés par le trouble. Les habiletés atteintes dans les capacités perceptivo-motrices diminuent les capacités de l'individu : dans ses fonctions d'exploration perceptive de son environnement, dans ses capacités pour agir sur ce dit environnement de façon adaptée, dans ses aptitudes pour pouvoir communiquer avec son milieu social et son habileté à gérer ses émotions face aux situations auxquelles il est confronté. On peut rajouter à cette définition l'observation de signes neurologiques doux qui viennent mettre en avant un dysfonctionnement cérébral à minima, une pluralité étiologique (biologique,

téléologique, écologique ou psychologique) et des troubles psychoaffectifs demandant une vigilance par rapport aux potentielles comorbidités.

Le TDA/H est par essence un trouble psychomoteur. Au niveau des fonctions d'exploration, de nombreuses études ont mis en évidence chez les enfants TDA/H, des difficultés perceptives : que ce soit dans les tâches de recherche visuelle sérielle (Mullane & Klein, 2008), dans la distinction du bleu et du jaune dans une tâche de nomination de couleurs (Banaschewski et al., 2006) , dans le traitement des informations somatosensorielles (Parush et al., 1997) notamment la discrimination tactile, ou de manière générale, à risque d'avoir des déficits dans le traitement sensoriel nécessaire dans les activités quotidiennes (Yochman et al., 2004).

Pour ce qui est des fonctions d'action, nous pouvons citer différentes études qui dévoilent les potentielles difficultés motrices chez les sujets TDA/H, comme des capacités d'équilibre statique et dynamique plus précaires que la normale (Mao et al., 2014), une grande variabilité dans des tâches de suivi de tracés ainsi que pour poursuivre une cible (Slaats-Willense et al., 2005), des habiletés locomotrices et de contrôle d'objets qui souffrent d'un manque d'attention aux détails lors des coordinations, ou des connaissances trop superficielles sur les habiletés motrices associées à de nombreux sentiments négatifs au sujet de leurs capacités (Harvey et al., 2007).

En ce qui concerne les fonctions de communication, on retrouve des imprécisions dans l'interprétation des expressions faciales et dans la reconnaissance des émotions (en particulier dans les types d'inattention prédominante que ce soit chez les enfants ou les adultes) (Cadesky, Mota, & Schachar, 2000) (Miller, Hanford, Fassbender et al., 2011)

Les signes neurologiques doux sont présents depuis les premières descriptions du syndrome. Une différence significative apparaît avec l'échelle d'évaluation des signes neurologiques doux Cambridge Neurological Inventory entre enfant avec TDA/H et enfant sain (Chan, McAlonan et al., 2010). Enfin, au niveau des troubles affectifs, les patients TDA/H souffrent d'un système d'auto-régulation de la motivation déficient, ainsi qu'une dysrégulation émotionnelle qui va rendre leurs affects instables.

2-Prévalence

Selon le DSM-V, le TDA/H est un des troubles neurodéveloppementaux les plus fréquents avec une prévalence d'environ 5% chez les enfants et d'environ 2,5% chez les adultes (on peut approximer que 50% des enfants, porteurs de TDA/H durant l'enfance, présenteront toujours des symptômes relatifs à cette pathologie à l'âge adulte). De surcroît le TDA/H est plus fréquent chez les hommes que chez les femmes ; avec un ratio de 2 pour 1 chez les enfants et de 1,6 pour 1 chez les adultes (les femmes présentes essentiellement les symptômes d'inattention). La prévalence importante de ce syndrome en fait un problème majeur de santé publique ; d'où le devoir de proposer des traitements adaptés à cette part non-négligeable de la population, soit avec les dérivés du méthylphénidate (psychostimulant avec une AMM sur le marché Français depuis 1995) ou à travers les thérapies psychomotrices que peut proposer le spécialiste de ce trouble qu'est le psychomotricien.

3-Diagnostic

Le diagnostic du TDA/H s'effectue à travers l'observation clinique du patient, et non à travers la passation de tests étalonnés paracliniques ne confirmant pas le diagnostic, mais pouvant l'appuyer par des données objectives. La symptomatologie TDA/H s'appuie sur une triade symptomatique que sont : l'inattention, l'hyperactivité et l'impulsivité.

Voici les critères diagnostiques attendus par le DSM-V pour valider le TDA/H :

L'individu souffre d'inattention et/ou d'hyperactivité/impulsivité qui vont le handicaper dans son développement ou son fonctionnement (notamment social, scolaire ou professionnel). Ces symptômes doivent être antérieurs à ses douze ans et présents dans au moins deux types d'environnements différents pendant plus de six mois. L'origine de ces symptômes ne doit pas être mieux expliquée par une autre pathologie mentale ou un comportement réactionnel.

Parmi les critères cliniques relatifs à l'hyperactivité et à l'impulsivité, nous pouvons citer :

_ Difficultés à rester assis, l'envie de se lever, de bouger et de s'agiter.

_Les situations où il faut rester en place sont éprouvantes et génèrent de l'impatience motrice, voire des comportements moteurs inappropriés.

_Parle trop et sans attendre son tour de parole dans les discussions.

_Ne prend pas en compte les activités des autres et veut imposer sa présence.

Pour ce qui est des critères relatifs à l'inattention :

_Peu d'attention aux détails, nombreuses fautes d'étourderie.

_Ne peut pas soutenir son attention et ne parvient pas à aller jusqu'au bout des tâches en cours.

_A l'air de ne pas écouter quand on s'adresse à lui.

_A du mal à s'organiser, perd ou oublie ses affaires.

_Se laisse distraire par des stimuli extérieurs.

Nous pouvons différencier plusieurs types de TDA/H selon la présentation des symptômes :

_Un TDA/H mixte si les critères d'inattention et hyperactivité/impulsivité sont présents.

_Un TDA/H type inattention prédominante si seulement les critères d'inattention sont présents.

_Un TDA/H type hyperactivité/impulsivité prédominante.

_Un TDA/H en rémission partielle si les critères étaient observables, mais ne le sont plus depuis les 6 derniers mois, malgré des difficultés toujours présentes dans le fonctionnement social, académique ou professionnel de l'individu.

Il est possible de décrire un cadre de TDA/H non-spécifique si le patient ne rentre pas dans le cadre diagnostique du TDA/H car il ne correspond pas à tous les critères diagnostiques requis mais pourtant des symptômes relatifs à ce syndrome sont présents et causent des déficiences dans l'adaptation de l'individu à son milieu.

La sévérité du TDA/H peut être évaluée comme étant de sévère à légère selon le nombre de symptômes supplémentaires présents, par rapport à ceux requis pour le diagnostic. Le TDA/H léger aura peu, voire aucun symptôme supplémentaire, et ses difficultés sociales et fonctionnelles seront mineures. Tandis que chez le TDA/H sévère, de nombreux symptômes en excès par rapport à ceux

requis dans le diagnostic vont impliquer des difficultés majeures dans le fonctionnement social et professionnel.

4-Les modèles théoriques

A) Le modèle d'Aversion du délai (1992)

Sonuga-Barke propose pour comprendre la sémiologie du TDA/H de passer par un modèle où le patient possède un trouble dans le circuit de récompense ce qui expliquerait le défaut d'attention, l'hyperactivité et l'impulsivité.

Un sujet avec TDA/H placé dans une situation d'attente ne supporte pas le délai entre le moment présent d'inaction et la récompense attendue dans le futur. Ainsi face à l'attente, le TDA/H va mettre en place plusieurs stratégies comportementales pathologiques pour éviter la phase de délai.

Dans une situation où l'on place le sujet face à un choix, c'est l'impulsivité qui va s'exprimer, car donner la réponse exacte importe peu (même si elle permettrait d'obtenir une meilleure récompense), c'est la rapidité à répondre qui est recherchée par le sujet pour mettre un terme à l'attente. Il existe une composante, liée à l'apprentissage pour ce phénomène, selon la réponse parentale face à l'impulsivité. Si la réponse parentale est stricte envers l'enfant dans ces situations, alors le sujet peut associer une composante émotionnelle négative face à l'attente en général.

Dans une situation où le sujet ne peut pas agir sur le délai imposé, il va focaliser son attention sur les stimulations périphériques non-temporelles de l'environnement. Il faut prendre en compte que la perception temporelle subjective est modifiée lors d'une phase d'attente. Le temps semble s'écouler plus lentement lors d'une phase d'attente, et à l'inverse semble s'accélérer face à des stimuli externes.

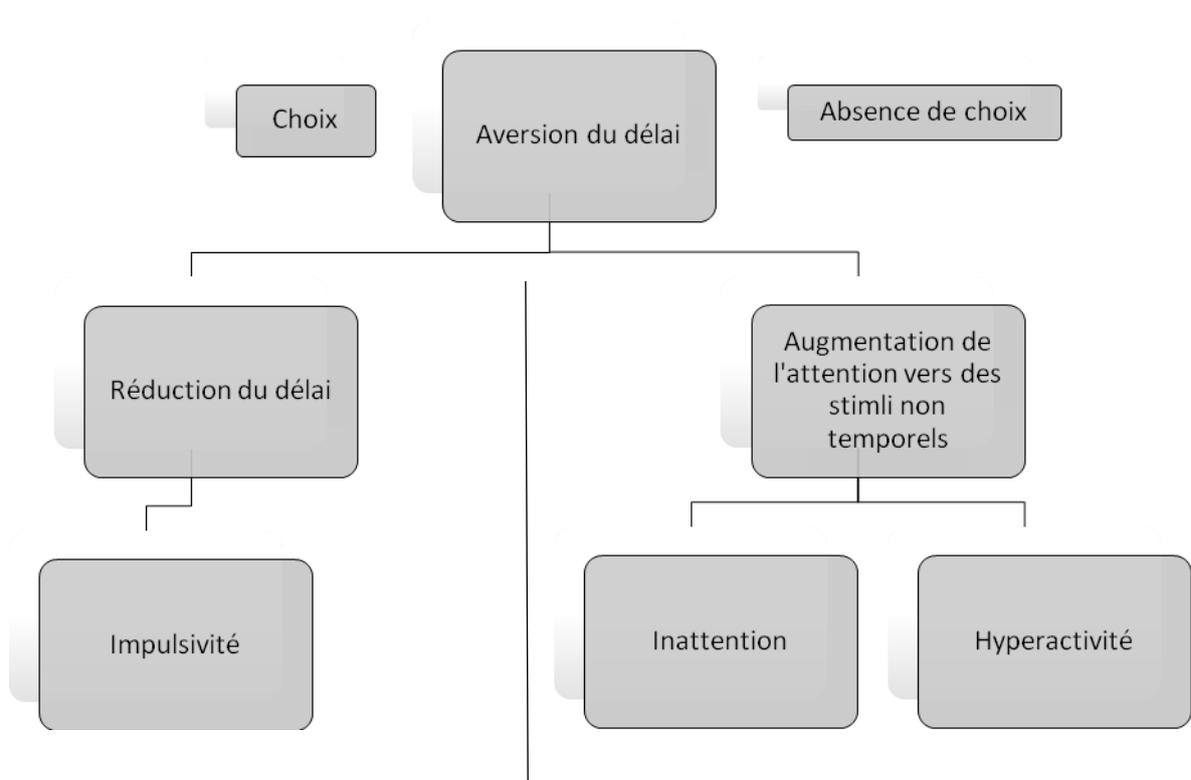


Figure 1. Modèle de l'aversion du délai (Sonuga-Barke et al., 1992).

Ce type de comportement va provoquer l'inattention du TDA/H. Si l'environnement périphérique à la tâche ne possède pas assez de stimuli pour changer le sentiment subjectif du passage du temps, alors le patient va créer ses propres stimulations à travers de l'agitation motrice qui va provoquer l'hyperactivité du TDA/H.

À partir de ce modèle, nous pouvons comprendre pourquoi les patients TDA/H nécessitent des renforcements positifs nombreux, et ancrés dans le moment présent, pour leur permettre de rester attentifs à la tâche en cours, sans se précipiter, changer de focus attentionnel ou s'agiter.

B) Le modèle de Barkley (1997)

Selon Barkley, le TDA/H serait principalement dû à un déficit d'inhibition comportementale. Son modèle théorique relie l'inhibition comportementale à 4 fonctions exécutives qui vont interagir avec le bon fonctionnement de cette inhibition : la mémoire de travail, la régulation des émotions, des affects et de la motivation, l'internalisation du langage et la reconstitution (analyse et synthèse).

On a retrouvé chez le TDA/H des anomalies du cortex préfrontal ainsi que dans les réseaux neuronaux avec les autres régions, en particulier avec le striatum. (Lou et al., 1984 ; Seig et al., 1995). Barkley a réuni de nombreuses preuves, des liens entre les fonctions préfrontales et l'inhibition comportementale (Fuster, 1989, 1995 ; Goldberg & Podell, 1995 ; Goldman-Rakic, 1995 ; Knights et al., 1995 ; Milner, 1995 ; Stuss & Benson, 1986). Il est donc plus que probable de retrouver un déficit de l'inhibition comportementale chez les patients TDA/H.

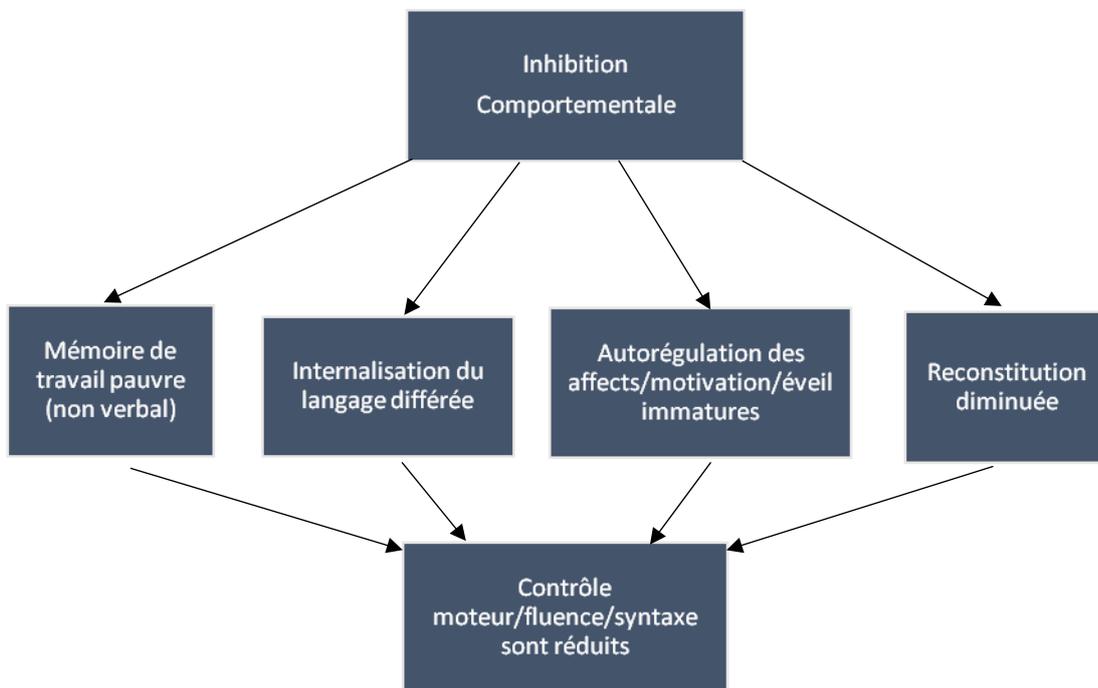


Figure 2 : Rôle de l'inhibition comportementale (Barkley, 1997).

L'inhibition comportementale comporte trois processus : l'inhibition initiale de la réponse face à un événement, l'arrêt d'une réponse en cours qui offre un délai permettant le choix de la réponse adaptée et une protection de la période de choix de réponse vis à vis de tous les stimuli externes (pour permettre le choix de réponse ainsi que la potentielle exécution du comportement dirigé vers le but de l'individu).

Parmi les quatre fonctions exécutives qui vont être affectées par le manque d'inhibition comportementale, nous retrouvons :

_La mémoire de travail. C'est une fonction cognitive permettant d'emmagasiner sur une courte période des informations pouvant être manipulées mentalement pour permettre l'accomplissement de la tâche en cours. Du défaut en mémoire de travail découle des incapacités d'organisation, d'anticipation et de planification, qui empêchent d'accomplir les activités de la vie quotidienne.

_L'internalisation du langage. Cette capacité est nécessaire pour s'autoguidé, s'autoquestionner dans le but de produire une réflexion, et une habilité de résolution de problèmes. Ce contrôle de la pensée et du comportement par le langage interne correspond au soliloque qui est souvent développé en retard dans le TDA/H. Le langage interne va créer des règles et des métarègles. Ces instructions vont dicter les réponses futures en créant des chaînes de réponses comportementales (action, réaction, conséquence). Ces chaînes vont s'organiser et peuvent être prolongées dans le temps, pour permettre une organisation durable dans le temps, malgré le délai temporel. Chez les TDA/H cela s'exprime notamment par des réponses directes aux stimuli sans conscience des conséquences, et une incapacité à prévoir des actions dans le temps pour un but, ou une récompense future.

_L'autorégulation des affects, de la motivation et de l'éveil. Ce qui correspond à un mauvais contrôle émotionnel chez les patients TDA/H. Leur capacité à l'objectivité, et à se placer dans une perspective sociale est diminuée. Le traitement des informations extérieures ne permet pas de réguler les

sensations de désir, la motivation, et l'état d'éveil dans le cadre d'un comportement réponse adaptée.

_La reconstitution. Cette capacité permet de diviser en plusieurs parties les séquences comportementales en différents modules qui peuvent ensuite être assemblés en de nouveaux comportements organisés (que ce soit des comportements verbaux ou non-verbaux). Chez les TDA/H un défaut de reconstitution s'exprime notamment à travers une diminution de la fluence verbale, un manque de flexibilité mentale et de créativité qui mène à des persévérations d'un comportement ou dans une stratégie.

Les déficits, dans les 4 capacités cognitives citées précédemment, vont engendrer une déficience des capacités supérieures nécessitant la coordination de nombreuses fonctions exécutives. Ainsi le contrôle moteur, de la fluence et de la syntaxe va être déficitaire chez les TDA/H, dû à leur déficit primaire en inhibition comportementale. Ainsi les comportements réponses dans le cadre du TDA/H émergent directement des stimuli externes liés à l'environnement immédiat.

C) Le modèle à deux voies de Sonuga-Barke (2003)

Après la mise en évidence de l'aversion du délai chez les TDA/H, Sonuga-Barke a cherché à assembler les deux modèles précédents, dans une vision plus holistique du sujet, qui expliquerait les variabilités comportementales inter-individuelles au sein du groupe des TDA/H. En effet, le diagnostic du TDA/H étant clinique, il se base sur l'observation de comportements plutôt que sur la mise en évidence d'un unique dysfonctionnement sous-jacent. Il est alors possible de trouver une pluralité d'étiologies relatives aux comportements spécifiques des TDA/H, des étiologies qui peuvent interagir entre elles et participent à l'ontogenèse de l'individu.

Il existerait ainsi deux voies dans le TDA/H. La première correspondrait au déficit d'inhibition comportementale (modèle de Barkley, 1997). Cette voie expliquerait les déficits cognitifs et comportementaux propres au TDA/H. La seconde correspondrait à l'aversion du délai (modèle de Sonuga-Barke, 1992) qui expliquerait les mécanismes motivationnels menant à des réponses inadaptées telles que l'impulsivité, l'inattention et l'hyperactivité.

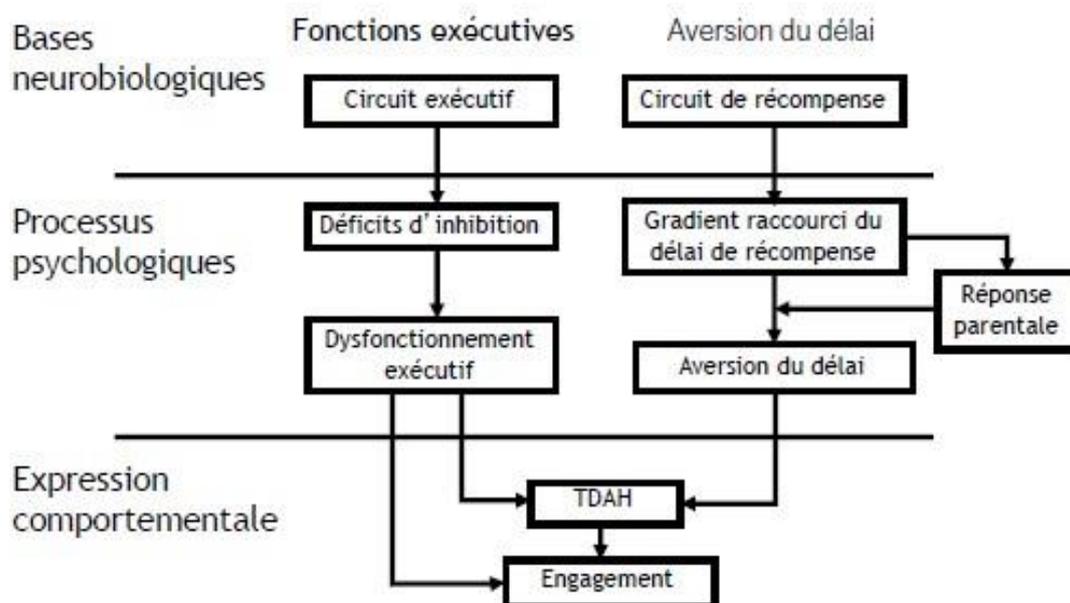
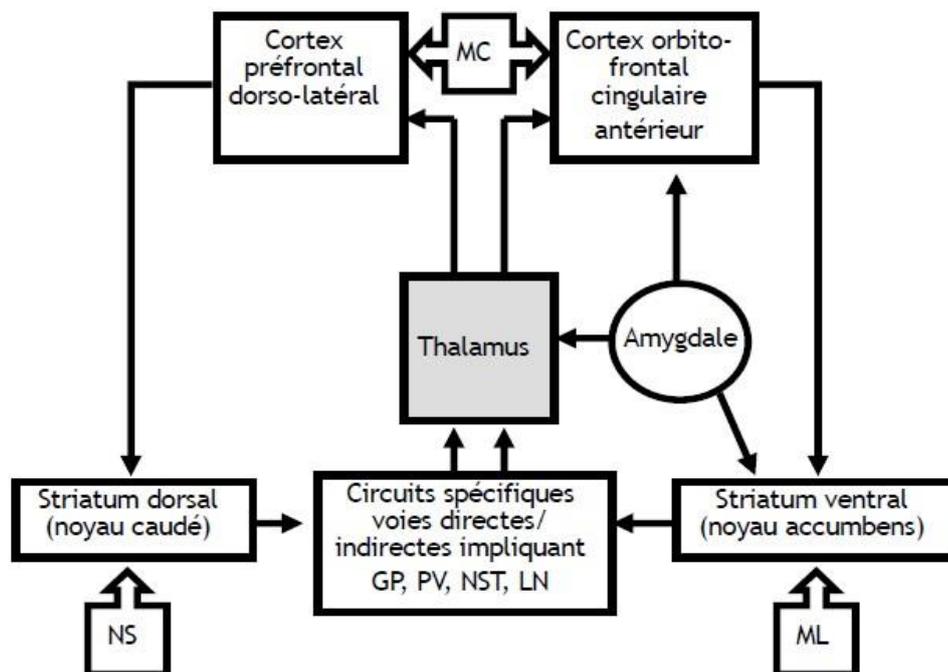


Figure 3. Modèle à deux voies (Sonuga-Barke, 2003).

a) Cadre neurobiologique

Les 2 voies sont séparées et distinctes, pourtant au niveau neurobiologique, on peut retrouver des liens importants, au niveau des régions cérébrales corticales et sous-corticales qui régulent l'action, la cognition et le couple émotion/motivation. Les 2 voies semblent parallèles mais possèdent des caractéristiques fonctionnelles distinctes au sein des boucles dopaminergiques. Ces boucles prennent leur origine dans l'aire tegmentale ventrale (sauf la boucle nigrostriatale qui provient d'une zone adjacente : la substance noire).



GP = Globus Pallidus; PV = Pallidum Ventral; NST, noyau subthalamique; LN, locus niger
Systèmes de la dopamine : MC = mésocortical ; ML = méso- limbique ; NS = nigrostriatal

Figure 4. Boucles dopaminergiques (Sonuga-Barke, 2003).

La boucle mésocorticale se projette au niveau du cortex préfrontal et orbitofrontal. Elle intervient dans le contrôle de l'inhibition cognitive et comportementale ainsi que d'autres fonctions cognitives telle que l'attention ou la mémoire.

_La boucle nigrostriatale se projette au niveau du striatum dorsal (noyau caudé). Elle influence les fonctions motrices, la mémoire, ainsi que les apprentissages non déclaratifs.

_La boucle mésolimbique se projette au noyau accumbens, et est associée aux structures limbiques. Elle est impliquée dans le système de récompense et participe au contrôle des processus motivationnels. Son dysfonctionnement serait à l'origine de l'aversion du délai.

b) Cadre neuroécologique

Une distinction persiste entre les aspects motivationnels (aversion du délai) et cognitifs (dysfonctionnement des fonctions exécutives) du phénotype du TDA/H. Ce modèle pourrait prédire que ces deux aspects se développent indépendamment, et que l'apparition de l'un n'entraîne pas forcément l'apparition de l'autre. Mais il est évident que cela serait réduire la complexité du développement de ces phénomènes ; il est plus que probable qu'une interaction entre les deux voies soit à l'œuvre.

Le développement est caractérisé par des phénomènes d'exposition à des situations dans l'environnement, et des phénomènes d'adaptation à ladite situation. Ces mécanismes vont pousser l'enfant à entrer dans des « niches développementales » qui vont participer pleinement à la construction de son développement. Une interaction va émerger entre les caractéristiques propres au sujet et les caractéristiques de son environnement, de sa culture.

La nature du TDA/H participe aux caractéristiques propres de l'enfant et va modifier les niches développementales. En effet, l'enfant avec un TDA/H va limiter son engagement dans les activités d'apprentissage qui forment le développement « normal », et ceci va alors réduire l'efficacité de ces processus qui faisait partie intégrante de la niche développementale. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette interaction, et proposer des aménagements, qui vont améliorer leur engagement dans ces activités, pour permettre un développement qui n'aggrave pas les difficultés cognitives et motivationnelles préexistantes. Ces aménagements ne proviennent pas uniquement du milieu, ainsi l'enfant doit apprendre à s'adapter à ses difficultés à travers des stratégies compensatoires.

D)Le modèle à trois voies (2010)

La mise en évidence de troubles reliés à la perception du temps chez les patients avec TDA/H a nécessité l'élaboration d'un nouveau modèle permettant d'intégrer cette nouvelle troisième voie dissociable des deux premières. Ce déficit de perception temporelle peut être évalué à travers des tâches de tapping ou de discrimination de durée. Nous pouvons citer les expériences de Sonuga-Barke, Bitsakou et Thompson (2010) et de De Zeeuw (2012) qui ont participé à l'élaboration de ce nouveau modèle et ont obtenu des résultats similaires.

Expérience de Sonuga-Barke, Bitsakou et Thompson (2010)

Les participants (de 6 à 17 ans) étaient des enfants avec un TDA/H (71), leur fratrie (65) ainsi qu'un groupe contrôle (50). L'expérience consistait en 9 tâches regroupées dans trois catégories :

_Le contrôle de l'inhibition :

_Tâche de signal Stop où il fallait appuyer sur un bouton de façon répétée, et inhiber sa réponse quand un signal visuel Stop apparaissait.

_Tâche de Go/No-go où il fallait appuyer sur l'un des deux boutons selon la position d'une flèche, et inhiber la réponse quand une flèche à deux têtes apparaissait.

_Tâche de Stroop modifié où des flèches congruentes ou incongruentes étaient présentées. Il fallait répondre sur le bouton pointé par la flèche pour celles congruentes (en vert) et faire l'inverse pour les incongruentes (en rouge).

_Les processus temporels :

_Tâche de tapping où il fallait synchroniser des pressions de bouton avec des signaux sonores à intervalles réguliers (1200ms), puis une tâche de continuation où il fallait continuer en gardant le rythme sans le signal sonore.

_Tâche de discrimination de durée où il fallait différencier deux signaux sonores de longueurs variables en déterminant lequel était le plus long.

_Tâche d'anticipation où il fallait anticiper le moment de réapparition d'un stimulus visuel après avoir effectué la tâche avec le stimulus visible pendant les 10 premiers essais.

_L'aversion du délai :

_Index de l'aversion au délai chez l'enfant de Maudsley, un jeu vidéo où il faut choisir entre, attendre pour recevoir un meilleur score, ou répondre instantanément mais recevoir un score plus faible.

_Évaluation de la frustration face au délai, avec une série de questions mathématiques où les enchaînements entre les questions peuvent être retardés de quelques secondes.

La variable observée est le temps de réponse par rapport au délai employé.

_Temps de réaction face au délai, où une flèche apparaît à l'écran et le sujet doit attendre qu'elle disparaisse pour répondre le plus rapidement possible.

Les résultats dévoilent que les enfants avec un TDA/H ont des scores inférieurs aux autres dans toutes les catégories. Les trois domaines testés sont indépendants les uns des autres.

Désormais trois voies peuvent être décrites dans l'appréciation du TDA/H. Ces trois voies sont distinctes. Des chevauchements peuvent apparaître mais comme simple cooccurrence sans lien

étiologique. Les trois sous-groupes correspondent à des dysfonctionnements spécifiques impliquant des circuits cérébraux différents.

_Une voie fronto-striatale dorsale correspondant aux déficits exécutifs telles que l'inattention ou la mémoire de travail.

_Une voie fronto-striatale ventrale correspondant aux comportements relatifs à l'aversion du délai et aux défauts du circuit de la récompense.

_Une voie fronto-cérébelleuse correspondant aux difficultés de perception temporelle.

La question de la temporalité prend alors tout son sens au niveau de l'évaluation du TDA/H, et de sa prise en charge thérapeutique, car il est possible d'être face à un patient dont les signes cliniques se réfèrent principalement à un déficit de perception subjective du temps qui passe. L'expérience de Sonuga-Barke, Bitsakou et Thompson (2010) a permis de mettre en avant des expressions de ce déficit temporel comme la difficulté à s'adapter à un rythme et à la poursuivre sans modèle, la discrimination de durée et les capacités d'anticipation d'une durée fixe.

II- Les processus temporels

Il est évident que la perception du temps est une caractéristique nécessaire à nos activités quotidiennes, et à notre adaptation face à notre environnement. Sans perception temporelle, s'organiser pour accomplir un projet, la conception de causalité, d'expérience passée et de projection dans le futur seraient impossibles. Il est très difficile d'imaginer une existence humaine, et la vie de manière générale sans un processus de perception temporelle pour apprécier cette dimension physique et psychologique.

De plus, définir le temps semble impossible sans présupposer l'existence du temps. Une définition tautologique est très peu satisfaisante, nous pouvons donc tenter de le désigner comme étant le phénomène entraînant les changements, déplacements et transformations.

Si l'homme a créé des outils pour mesurer le temps comme les sabliers et cadrans solaires, jusqu'à l'horloge atomique, il n'existe pas chez l'homme d'organe sensoriel responsable de la perception du temps. Pourtant il est possible de ressentir le temps qui passe à travers un traitement cérébral multisensoriel, et l'existence de rythmes internes qui agissent comme des référentiels (comme le rythme circadien).

1-Description des processus temporels

A) Définition

La définition des processus temporels nécessite, dans un premier temps, de distinguer quelles sont les différents processus à l'œuvre, car il n'existe pas un mécanisme unique dans la perception temporelle mais plutôt une multitude de processus qui permettent la perception du temps et l'action dans ce dernier.

Selon (Frasse, 1967), il existe une perception de l'ordre qui participe à organiser les événements dans le temps selon une suite d'actions et de conséquences. Cette perception permet l'élaboration d'une chronologie des faits passés au niveau mémoriel, et une organisation des événements futurs probables régit par un enchaînement, d'une suite rationnelle de faits. Un lien de conséquence peut apparaître ; par exemple entre un vase tombant et un vase cassé au sol. L'ordre peut aussi être dû au hasard dans le cadre d'événements non reliés entre eux.

En plus de la perception de l'ordre, il existe une perception d'intervalles temporels correspondant à la perception des durées. Cette perception des durées est subjective, et est à différencier de la durée physique qui correspond au temps réel mesuré avec des outils externes.

Une distinction peut être faite entre le timing moteur et le timing perceptif (Rubia, 2006 ; Toplak 2006) :

_Le timing moteur correspond aux réponses comportementales relatives au temps comme l'organisation temporelle de la motricité, du discours ou de la pensée.

_Le timing perceptif se réfère aux aspects passifs et perceptifs de la gestion cognitive du temps ; comme différencier deux intervalles temporels et l'habileté à estimer des durées temporelles.

B) La classification de Coull et Nobre (2008)

Selon ce modèle, le processus temporel peut se définir selon la nature de la tâche. Quand la tâche demande de juger le temps de façon explicite avec une estimation de durée, ou une production de

durée relative, uniquement au temps en lui-même et non à une action ; alors nous sommes dans le cadre du timing explicite. Le cadre du timing implicite correspond quant à lui aux activités, où le temps est un moyen mais pas un but en soi. Cela se rapporte à toutes les activités sensori-motrices qui utilisent le temps pour réussir à organiser les coordinations dans un cadre temporel.

Comme vu précédemment, les timings explicites et implicites possèdent deux versants possibles, un versant moteur ou un versant perceptif.

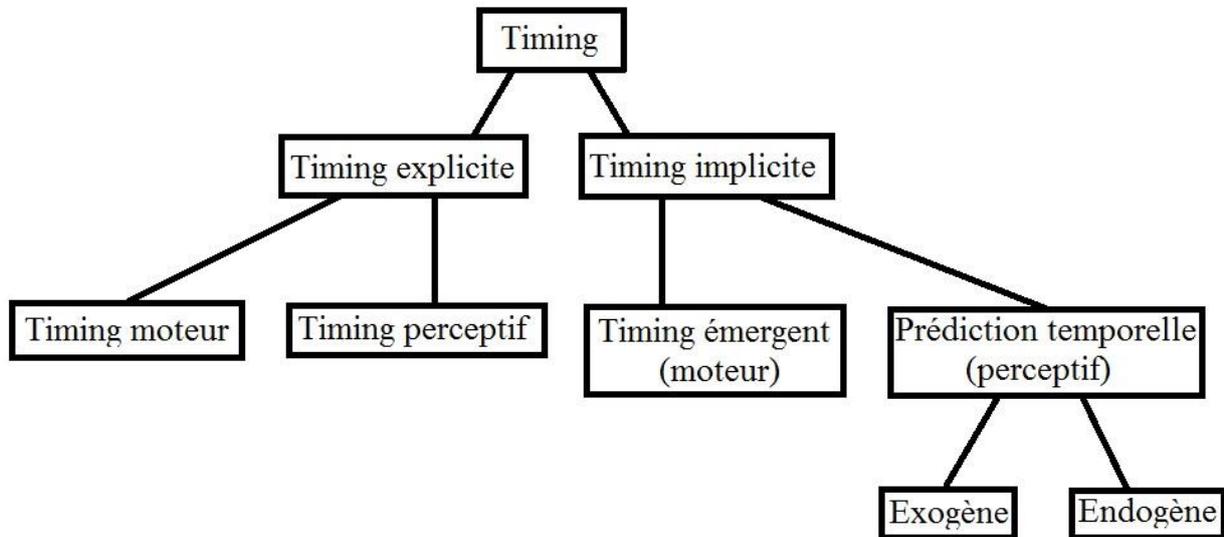


Figure 5. Classification des processus temporels *Coull et Nobre (2008)*.

Le timing explicite moteur correspond aux activités motrices cherchant à agir en relation directe avec le temps, que ce soit dans une tâche de synchronisation (avec le rythme de la musique dans le cadre de la danse), de production d’intervalles (jouer d’un instrument de musique rythmique).

Dans le cadre de la recherche, il existe des paradigmes expérimentaux permettant la mise en évidence des capacités du timing explicite moteur :

_Des tâches de reproduction motrice d’intervalles de temps en synchronisation avec un signal puis en continuation sans le signal. La partie de continuation permet d’évaluer la mémorisation du timing.

_Des tâches de reproduction d’une durée à travers une présentation d’un stimulus plus ou moins long puis sa reproduction motrice à l’aide d’un bouton à maintenir durant l’équivalent de la durée perçue.

Le timing explicite perceptif se réfère à l’estimation cognitive volontaire d’une période de temps perçue ou à prévoir. En effet cette capacité peut être rétrospective ou prospective. Nous pouvons l'utiliser comme paradigme expérimental :

_Des tâches de comparaison entre deux stimuli ayant une durée différente, et le sujet doit déterminer qu'elle est le plus long.

_Des tâches de bissection temporelle où l'on présente deux durées étalons (une longue et une courte) et ensuite le sujet doit organiser les nouvelles durées entre les deux durées étalons selon leur longueur.

_Des tâches d'estimation de temps nécessaire pour réaliser une activité de façon prospective ou rétrospective.

Le timing implicite moteur ou timing émergent est inséparable de l'action motrice, de sa préparation et de son contrôle. Il permet la régularité temporelle des mouvements cycliques tels que la marche, le vélo ou la natation. Son évaluation passe par :

_Des tâches de production spontanée d'un tempo moteur relatif au rythme préféré de l'individu (en frappant dans les mains).

_Des tâches d'activités motrices cycliques, pour en extraire le rythme spontané émergent et sa potentielle régularité (dans la marche).

Le timing implicite perceptif ou prédiction temporelle permet l'anticipation d'un événement. Sans faire partie du contrôle moteur, il est une étape nécessaire pour percevoir des informations de l'environnement qui seront ensuite utilisées dans la production du mouvement pour améliorer vitesse et précision de la réponse. Il peut être utilisé pour percevoir la régularité d'un stimulus ou prévoir son moment d'apparition. Ce mécanisme peut opérer de manière intentionnelle ou non.

Quand il est intentionnel on le considère endogène, il est alors centré sur la comparaison entre une durée archivée en mémoire de travail ou dans une mémoire à long terme, et une durée perçue simultanément à l'activité en cours. Cette comparaison est intentionnelle dans le but d'accomplir avec efficacité une tâche déjà effectuée en améliorant sa réalisation. Dans le cadre des activités industrielles associées à une machine, connaître la durée de transformation d'un produit par la machine permet de la réceptionner plus rapidement et ainsi améliorer la productivité. Dans cet exemple, il est impossible d'observer directement où en est l'avancé de la transformation du produit, c'est ce qui rend la prédiction temporelle endogène car il est impossible de s'appuyer sur des informations extérieures pour réguler la prédiction. Elle s'investigue à travers :

_Des tâches de prédiction temporelle indicée où l'on dévoile au sujet un stimulus visuel associé à une durée (c'est la phase d'association), puis ensuite le sujet doit utiliser cette association pour pouvoir anticiper le moment d'apparition du stimulus visuel et ainsi répondre le plus rapidement possible (phase de prédiction).

_Des tâches de prédiction temporelle sérielle avec la présentation de quatre modèles rythmiques que le sujet doit ensuite pouvoir différencier, et retrouver si le dernier modèle correspond ou non à un des trois premiers modèles.

La prédiction temporelle exogène est non-intentionnelle. Contrairement à l'endogène, cette prédiction peut s'aider des stimuli de l'environnement pour permettre une régulation de sa prédiction. Pour éviter un projectile, l'information visuelle du déplacement du projectile nous permet d'approximer sa vitesse et sa distance. A partir de ces données, une appréciation de l'intervalle de temps avant qu'il n'arrive à proximité de notre corps est possible. Là aussi ce mécanisme perceptif cherche à améliorer l'efficacité de la réponse motrice en offrant une anticipation des caractéristiques spatio-temporelles, que la coordination va devoir prendre en compte. Cette prédiction temporelle est testée à travers des tâches d'anticipation de collision. Le sujet observe la trajectoire d'un objet qui se déplace en direction d'un objectif, il doit parvenir à prédire le moment où l'objet atteint l'objectif à partir de sa vitesse et de son déplacement.

C) Le rythme

Le rythme est une suite de stimuli d'une durée définie, à intervalles temporels réguliers.

La perception et la reconnaissance d'un rythme s'effectue à travers les phénomènes de cadences et de périodicités. Il est défini par l'ordre des stimuli et l'intervalle de temps entre les moments où le stimulus est présent, et ceux où il est absent. Ces moments d'élévation (arsis) où le stimulus est absent et d'abaissement (thésis) où il apparaît, doivent posséder un rapport de durée identique entre eux. Si nous prenons l'exemple d'une personne qui applaudit, l'arsis correspond aux moments où les mains s'écartent et se rapprochent, la thésis correspond alors au moment où les mains se rejoignent et produisent le stimulus sonore.

Il est impossible de le décrire en isolant les stimuli, car par définition il doit être envisagé de manière holistique. Ce ne sont pas les stimuli qui créent le rythme mais les caractéristiques d'ordre et de durée qui en émergent. La répétition périodique du stimulus peut être perçue comme un ensemble global, la théorie de la « Gestalt » peut ici s'appliquer car le tout est différent de la somme de ses parties. Les stimuli créant un rythme perdent leur nature de composants du rythme s'ils sont divisés les uns des autres et désorganisés.

Le rythme possède un ordre sériel de son premier stimulus jusqu'au dernier, permettant la reconnaissance du rythme. Si les stimuli n'étaient pas organisés selon une structure ancrée sur le déplacement du temps, des stimuli consécutifs, simultanés ou désorganisés détruiraient la perception entière du rythme.

Même si c'est réduire le rythme à sa durée, il est possible et pratique de désigner un rythme par l'intervalle temporel constant entre ses stimuli : son tempo. Le tempo est représenté par l'intervalle inter-stimuli (IIS) ou par le nombre de battements par minute (BPM).

La nature du stimulus composant le rythme peut être multiple. Il peut passer par différents canaux perceptifs comme l'auditif, le tactile ou le visuel. Pour que le rythme soit perçu, il est indispensable que la nature sensorielle des stimuli soit la même.

La durée du stimulus peut varier et peut être plus ou moins longue. Dans le cas où la durée du stimulus est très brève, on peut la négliger et approximer le stimulus comme un événement précis à un instant (dans le cadre du tempo par exemple).

2-Modèles théoriques

Pour permettre une meilleure conception de l'implication des processus temporels et leur mode opérationnel, les auteurs ont cherché à déterminer des modèles explicatifs de leur fonctionnement.

A) Le modèle d'horloge interne

Ce modèle créé par Treisman (1963) explique les processus temporels à travers un traitement cognitif de l'information temporelle ce qui passe par plusieurs mécanismes mnésiques, décisionnels dans le cadre de la perception temporelle. Le processus fondamental est le « pacemaker » auquel sont associés une unité de stockage, un compteur et un comparateur. Le pacemaker constituerait un rythme interne stable et constant qui serait la base de la perception subjective du temps. Un rythme du pacemaker rapide équivaldrait à une perception plus lente du temps qui passe, et à l'inverse un rythme lent accélérerait la perception temporelle.

Dans le cadre d'une tâche de timing explicite perceptive, l'individu utilise un compteur pour stocker le nombre de pulsations émises par le pacemaker durant l'intervalle de temps (mémoire de travail). C'est le module de comparaison qui va ensuite évaluer ce nombre de stimuli à des intervalles de temps personnels standards (ces durées sont apprises par l'individu et peuvent être renforcées par des mécanismes mnésiques) présents dans l'unité de stockage. À partir de l'interaction de ces modules cognitifs émergerait le jugement temporel qui est exprimé à partir d'unités apprises par l'individu (secondes, minutes, heures).

Ce modèle est à nuancer car l'une des caractéristiques du jugement temporel de l'homme est sa propension à la variabilité, et ce modèle ne prend pas en compte, les impacts des émotions ou du niveau d'éveil sur la perception subjective du temps.

Pour prendre en compte les défauts du modèle, Treisman et Brogan (1992) conçoivent un nouveau système d'oscillateur-calibreur. Ainsi, le pacemaker ne serait pas constant, c'est pourquoi il a été remplacé dans le modèle par 2 modules : un oscillateur temporel et une unité de calibration. Ici l'oscillateur temporel va avoir un rôle similaire au pacemaker tandis que l'unité de calibration va faire varier la fréquence de stimulus, pour donner une base temporelle finale issue de l'interaction de l'unité de calibration sur l'oscillateur temporel.

Gibbon et ses collaborateurs (1984) vont préciser les systèmes de traitement de l'information mis en jeu dans le modèle de Treisman :

_L'horloge interne qui correspondrait au pacemaker lié à un accumulateur (ou compteur) à travers un interrupteur. Ici le pacemaker n'est pas constant sur des intervalles courts mais serait en moyenne constant sur de longues périodes. Ce système serait sensible à l'état d'éveil et émotif. Nous pouvons citer la différence selon le canal sensoriel utilisé, en effet un intervalle de temps sera jugé plus long si exprimé à travers un stimulus auditif plutôt que visuel (Wearden, Todd et Jones, 2006). La vitesse

du pacemaker augmenterait aussi avec un niveau d'éveil plus élevé ce qui résulterait à une perception du temps plus longue (Penton-Voak, Edwards, Percival & Wearden, 1996)

_Les processus mnésiques qui correspondent à la mémoire de travail mis en jeu dans l'accumulateur et la mémoire à long terme qui permet de garder des traces mnésiques d'intervalles de temps déjà expérimentés et utilisés comme référence.

_Les processus décisionnels, ce qui correspond au comparateur vu précédemment dépendent du bon fonctionnement des mécanismes sous-jacents et vont permettre la comparaison entre une représentation temporelle mémorielle standard et le nombre d'impulsions maintenues en mémoire de travail. Il a été démontré que la variabilité issue de ce niveau est principalement due à des références peu stables mais sensibles à l'amélioration par feedback (Wearden, J. H., & Farrar, R, 2007).

Chrch et Broadbent (1990) vont opérer avec une approche connexionniste qui permet pour la première fois d'approcher les modèles théoriques de la réalité anatomique. Le pacemaker n'est pas unique, mais il y aurait en réalité une multitude de pacemakers (ou oscillateurs) qui fourniraient des informations différentes ayant chacun une période d'oscillation différente croissante. L'accumulateur serait ici constitué d'un indicateur de statut pour chaque oscillateur. Ils pourraient déterminer quand son oscillateur arrive à la moitié de sa période. La mémoire de travail va associer les résultats des indicateurs de statut dans une matrice d'auto-association pour obtenir un vecteur de stockage. Il sera comparé à un vecteur de récupération (stocké dans la mémoire à long terme) dans le comparateur pour permettre la décision d'un jugement temporel.

Miall (1989) propose que les oscillateurs, avec des fréquences différentes, se synchronisent et sont réinitialisés au début de l'estimation temporelle. Ainsi à chaque instant, seul un nombre réduit d'oscillateurs serait en phase, c'est l'activité maximale coïncidente. À partir de cette information, un traitement est mis en place pour faire correspondre cette somme d'oscillateurs synchrones à une durée.

Le modèle de l'horloge interne, comme nous l'avons vu a beaucoup évolué durant les années selon les auteurs qui se sont penchés sur la question. Matell et Meck en 2000 ont présenté leur propre

version du modèle sous le nom « Striatal beat frequency » ; qui est aujourd'hui considéré comme le modèle d'horloge interne le plus abouti. Il s'appuie sur tous les modèles précédents mais supprime l'idée du pacemaker. Selon lui, le réseau cortico-striato-thalamo-cortical gère le traitement de l'information temporelle. La perception des durées serait reliée à une activité spécifique des neurones qui déchargeraient à une fréquence propre. Le striatum serait la localisation anatomique de la détection de coïncidence, entre l'organisation de neurones synchrones à la fin de l'intervalle de temps observé, et l'organisation de neurones stockés comme intervalle temporel de référence, dans la mémoire à long terme. Ce mécanisme serait assuré par des neurones épineux dans le striatum, qui sont spécialisés dans la détection de synchronicité d'oscillation d'un sous-groupe de neurones. Il semblerait que la dopamine, issue de la substance noire, ait un rôle important dans ce fonctionnement (ce qui expliquerait en partie les troubles des processus temporels observés dans la maladie de Parkinson, où l'on retrouve une dégénérescence des neurones de la substance noire).

C'est le modèle de l'horloge interne qui nous permettra d'envisager les processus temporels dans la partie pratique. Nous allons tout de même étudier quels sont les autres modèles explicatifs qui ont émergés dans la littérature.

B) Les modèles dynamiques

En dehors du modèle de l'horloge interne qui explique les processus temporels à travers des fonctions cognitives, il existe des modèles approchant les processus temporels à l'aide du prisme des théories dynamiques.

a) Le modèle d'espace de stockage

Avec son modèle de l'espace de stockage, Ornstein (1969) a proposé que la perception subjective du temps émerge de l'expérience des événements non-temporels, d'un point de vue quantitatif, par

leur nombre et par leur complexité. Ainsi plus un événement contient un grand nombre de sous-événements et plus ces sous-événements sont complexes, plus il occupera un espace de stockage mémoriel important. L'espace de stockage serait ici relié à la perception de durée, et entre deux événements c'est celui qui occupe un plus grand espace de stockage qui sera perçu comme le plus long. Cette théorie est fortement remise en question mais elle a ouvert la voie à une approche différente de la perception temporelle.

Underwood et Swain (1973) ont démontré, en référence au modèle d'Ornstein, qu'augmenter l'attention sur les événements en cours, permet d'augmenter les sensations de durée de ces événements qui semblent alors plus longs. Mais à l'inverse ces événements qui semblent plus longs avec l'augmentation de l'état d'éveil ne permettent pas de stocker une plus grande quantité d'informations. Ainsi l'expérience de la durée serait plus à relier à l'état d'éveil et d'attention face à un événement, plutôt que l'espace de stockage qu'il représente.

b) Le modèle des attentes dynamiques

Le modèle des attentes dynamiques de Jones et Boltz (1989) propose que les événements soient temporels par définition et que leur structure dans le temps est essentielle et fondamentale à leur nature. L'organisation temporelle des indices non-temporels présents dans l'environnement lors d'un événement permet d'établir une hiérarchisation de ces phénomènes dans le temps et l'émergence d'une appréciation des durées. Ces indices peuvent être de tous types : un mot dans une phrase, une note dans une musique ou une contraction musculaire dans une coordination. Il serait alors possible

d'observer ces indices et leur régularité pour anticiper la durée et le moment d'apparition d'évènements.

Deux modes d'attentes dynamiques sont à distinguer :

_Le mode d'attente dynamique orienté vers le futur ce qui signifie que l'individu focalise son attention sur un évènement qui peut être facilement prédictible. Cette prédictibilité provient de l'apprentissage à travers les expériences antérieures vécues avec le dit évènement et des différents indices environnementaux qui étayent l'anticipation. Ainsi la fin de l'évènement va être attendue par l'individu à un instant précis. Si sa prédiction est juste alors l'évènement sera jugé en accord avec les attentes de l'individu. Mais, si au contraire, l'évènement a lieu en avance ou en retard par rapport à la prédiction, alors l'individu va changer son jugement temporel et le considérera désormais plus court ou plus long.

_Le mode d'attente dynamique orienté vers l'analyse correspond aux évènements difficilement prévisibles. L'individu ne portera pas directement son attention vers l'évènement mais plutôt vers les indices associés et au contexte global du moment. Ces indices permettront d'organiser un cadre temporel hiérarchique hypothétique pour l'évènement en cours. Les éléments permettant cette analyse sont nombreux et leur recherche peut passer par des stratégies différentes : de l'analyse spatiale de l'environnement, aux nombres de sous-évènements, leur complexité et leur changement durant le déroulement de l'évènement évalué.

c)Le modèle de Staddon et Higa (1999)

Les modèles cognitifs présentent le temps comme un facteur qu'il est possible de réduire en unité et de le discrétiser. Ce nouveau modèle a vocation à rendre la représentation du temps continu. Staddon et Higa proposent un modèle de perception temporelle similaire à un processus de dégradation mémorielle. L'idée derrière ce modèle est que l'unité utilisée pour percevoir le temps serait similaire à la dégradation progressive et constante de l'empreinte mémorielle entre le début et la fin d'une durée à évaluer. Ce modèle propose sur un niveau théorique, d'assimiler le système de perception temporelle aux principes dynamiques de la mémoire, dérivés du modèle des échelles de temps multiple utilisé dans l'habituation. L'habituation est un phénomène d'apprentissage où un individu voit décroître sa réponse (en fréquence et en intensité) à un stimulus s'il est présenté de manière

répétée, ou sur de longues périodes. Dans ce cadre, la force de la trace mnésique (qui décroît avec le temps) peut être utilisée pour déterminer combien de temps est passé depuis que le souvenir a été stocké. En effet l'oubli se produit selon une trajectoire temporelle prévisible.

Selon Lewis & Miall (2006), le modèle de Staddon et Higa semble être vraisemblable d'un point de vue neurobiologique. Le cerveau pourrait être capable de mesurer le temps en utilisant les mêmes cellules du cortex préfrontal dorsolatéral qui sont utilisées dans la mémoire de travail. En effet, les processus peuvent se regrouper tous les deux dans cette zone neuroanatomique. Ils fonctionnent tous deux à travers un système dopaminergique. De plus, ces neurones en question ont une activité selon un pattern temporel similaire pour les deux activités.

d) Le modèle de la double clepsydre

Wackermann et Ehm (2006) considèrent le temps comme une variable continue et utilise la comparaison avec l'écoulement d'un liquide à l'intérieur d'une clepsydre (outil pour mesurer une durée à partir de l'écoulement d'une quantité d'eau entre deux récipients). Ce modèle s'applique aux tâches de reproduction de durée. Il considère alors que deux « clepsydres » s'activent, durant la phase où l'on présente l'intervalle de temps à retenir (encodage) alors la première clepsydre se remplit en fonction de la durée. Durant la phase de reproduction, la première clepsydre se vide dans la seconde. Une comparaison des deux clepsydres permet ensuite la reproduction, ou de comparer les deux durées. Ce modèle tente de reproduire la réalité biologique des assemblages neuronaux, qui accumulent l'excitation provoquée par le traitement interne des « flux neuraux », puis se relâchant jusqu'à leur état de base.

3-Les composants anatomiques

Les études des processus temporels au niveau biologique s'appuient notamment sur l'imagerie médicale, qui s'est récemment développée, pour permettre de mettre en avant les structures recrutées dans ces mécanismes. Nous pouvons citer l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (ou IRMf) qui permet de visualiser l'activité cérébrale en observant les variations de vascularisation (liées au niveau d'oxygène sanguin) des zones cérébrales. L'électroencéphalographie (EEG) peut aussi être utilisée. Cette méthode d'exploration cérébrale repose sur la mesure de l'activité électrique du

cerveau à l'aide d'électrodes qui viennent se placer sur la surface crânienne. Les études postlésionnelles ainsi que l'étude des maladies neurologiques peuvent aussi permettre ces recherches. Il semblerait que les différentes régions cérébrales soient recrutées selon que l'intervalle étudié soit inférieur ou supérieur à une seconde. Ceux inférieurs à la seconde seraient plus régis par les zones sous-corticales que les autres (Wieiner, 2010).

Une distinction peut être effectuée entre les régions impliquées, dans le timing implicite et explicite. Ainsi, l'aire pré-motrice, le cervelet et le cortex pariétal, en plus de régions accessoires, s'occupent du timing implicite tandis que le cortex préfrontal, le cortex temporal et les ganglions de la base gèrent le timing explicite. (Piras et al, 2014)

A) Le cervelet

Des études comme celles de Wieiner (2010) dévoilent l'importance du cervelet, dans les processus de perception temporelle inférieure à une seconde pour ce qui est des tâches de timing perceptif, et moteur ; contrairement aux tâches supérieures à la seconde où le cervelet ne semble pas impliqué. Il est tout de même important de noter que selon que la tâche de timing soit perceptive ou motrice, des aires différentes du cervelet sont activées (Coull et al, 2011). En effet le timing perceptif semble situé dans les régions supérieures et médiales du cervelet, tandis que ce sont les régions latérales qui s'activent pour les tâches de timing moteur. La région d'activation pourrait aussi dépendre du type de stimulus, médiale pour les stimuli visuels et latérale pour les stimuli auditifs. Enfin une distinction entre timing explicite et implicite se révèle possible, mais les études ont encore des résultats contradictoires.

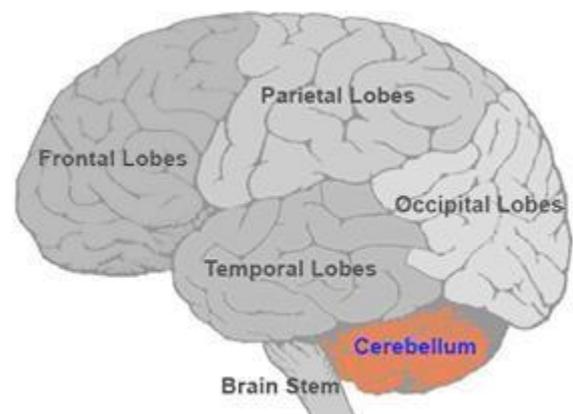
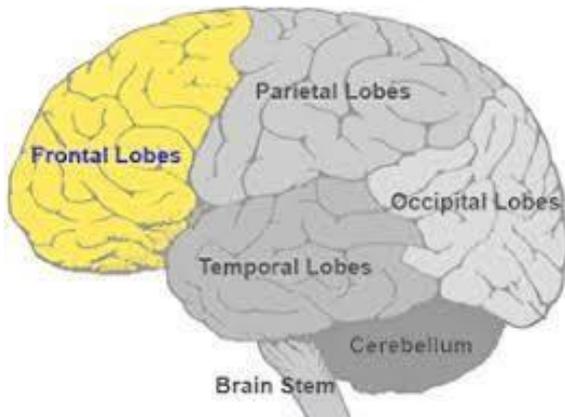


Figure 6. Schéma du cervelet (Cole et al., 2014).

B) Les lobes frontaux

Ils auraient un rôle lié à l'attention et à la mémoire de travail pour maintenir et organiser les renseignements temporels. Ainsi les cortex préfrontaux dorsolatéraux (et ventrolatéraux de l'hémisphère droit) sont reliés à la perception temporelle des durées supérieures à une seconde. Le lobe frontal contient deux structures qui ont la particularité de s'activer lors des tâches inférieures et

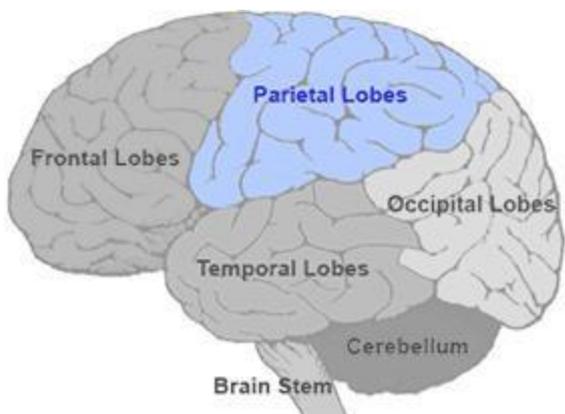
supérieures à une seconde : le gyrus frontal inférieur droit et les aires motrices supplémentaires bilatérales. Il est donc possible que ces deux structures aient un rôle fondamental dans le réseau



neuronal permettant la perception du temps (Wieiner, 2010). Deux études ont dévoilé un rôle du cortex préfrontal dans le timing moteur inférieur à la seconde (Ivry and Keele, 1989 ; Pfeuty et al., 2003). Les aires motrices supplémentaires bilatérales semblent être utiles dans les tâches de timing perceptif mais plus particulièrement sur les tâches de timing moteur (Pfeuty et al., 2003).

Figure 7. Schéma des lobes frontaux (Cole et al., 2014).

C) Les lobes pariétaux

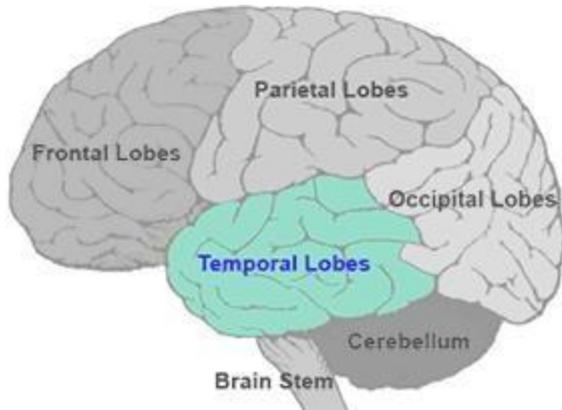


Le Lobule pariétal inférieur semble être mis en jeu dans les tâches perceptives inférieures à la seconde (Buetti and Walsh, 2009) mais aussi dans les tâches de timing moteur supérieures à la seconde (Oliveri et al., 2009). Le cortex pariétal est crucial dans le traitement des informations temporelles ayant un lien avec une information spatiale pour ce qui est des intervalles supérieurs et inférieurs à la seconde (Koch, 2009).

Figure 8. Schéma des lobes pariétaux (Cole et al., 2014).

D) Les lobes temporaux

Le lobe temporal supérieur et l'hippocampe pourraient participer à l'estimation des intervalles temporels dans un circuit fronto-hippocampique modulant l'étape mémorielle du modèle de l'horloge interne. Ce complexe mémoriel garderait en mémoire l'évolution de l'attente au fil du temps pour améliorer les prédictions futures. (Piras, 2014).

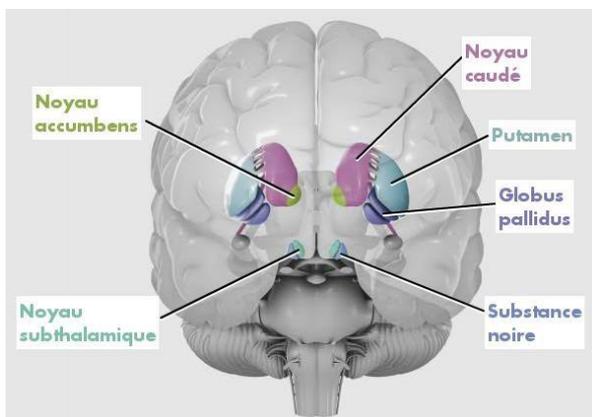


La partie ventro-médiane du lobe temporal supérieur est aussi activé dans le cadre des tâches temporelles pour maintenir une "image auditive" lors des tâches temporelles et ce que le stimulus soit auditif ou visuel (Penhune et al, 1998).

Le gyrus temporal supérieur semble avoir un rôle dans les tâches temporelles motrices inférieures à la seconde et pour le timing perceptif supérieur à la

seconde. (Wiener, 2010) Figure 9. Schéma des lobes temporaux (Cole et al., 2014).

E) Les ganglions de la base



Le striatum (noyau codé, putamen et noyau accumbens) est activé durant les tâches de perception supérieures ou inférieures à une seconde. En se référant au modèle de (Matell et Meck,2000) son rôle semble essentiel dans l'établissement d'une base de temps (à travers un pacemaker ou d'oscillateurs). Il pourrait aussi avoir un rôle dans l'encodage des durées (Grondin, 2010). Le fonctionnement de ces structures reposerait sur la

dopamine notamment produite dans la substance noire.

Figure 10. Schéma des ganglions de la base (Florida Institute for Neurologic Rehabilitation., 2017).

		Cervelet	Lobes frontaux	Lobes pariétaux	Lobes temporaux	Ganglions de la base
Timing perceptif	Inférieur à la seconde	×	×	×		×
	Supérieur à la seconde		×		×	×
Timing moteur	Inférieur à la seconde	×	×		×	
	Supérieur à la seconde			×		

Figure 11. Schéma récapitulatif des activations cérébrales selon le processus temporel (d'après Wiener, 2010)

F) Les réseaux neuronaux

Tous ces composants ne peuvent fonctionner sans l'association étroite des différents éléments, dans des réseaux neuronaux permettant la communication et la coopération. Les auteurs ont proposé deux types de circuits neuronaux. Un circuit Striato-thalamo-cortical pour les tâches de timing explicite et un circuit cérébello-thalamo-cortical pour les tâches de timing implicite. (Wiener et al, 2010 ; Coull et al, 2011 ; Piras et al, 2014).

Un autre modèle de circuits, qui repose sur la distinction entre le timing rythmique et le timing des durées, est possible avec un circuit striato-thalamo-cortical, pour le timing des durées qui se réfère à la perception de durées, mais aussi timing moteur des activités discrètes. Le circuit olivo-cerebelleux s'activerait pour les tâches de perception de rythme ou les tâches de timing moteur d'activité continue (comme la marche) (Teki et al, 2012).

III- Liens entre les processus temporels et le TDA/H

Nous avons pu présenter les cadres théoriques du TDA/H et des processus temporels, nous allons désormais étudier leurs interactions et décrire de quel ordre sont les difficultés temporelles rencontrées dans cette pathologie.

Dans un premier temps, il est pertinent de s'intéresser à deux composants majeurs nécessaires aux processus temporels, selon les différents modèles, et qui sont déficitaires dans le cadre du TDA/H : l'attention et la mémoire de travail.

1-Déficits cognitifs et processus temporels

A) L'attention et les processus temporels

L'inattention fait partie de la triade symptomatique du TDA/H, c'est un symptôme reconnu depuis la création du cadre symptomatologique de ce trouble. Or l'attention est un des pré-requis à l'évaluation et la production de temps. Un manque d'attention porté à la tâche temporelle quelle qu'elle soit va rajouter de la variabilité au résultat selon le niveau d'attention recruté pour la tâche.

Certains auteurs mettent l'attention au centre des processus temporels, avec par exemple le modèle de Zakay et Block (1997) qui présente un modèle de porte attentionnelle, inspiré par les modèles de l'horloge interne de Gibbon et Church (1984). Ici l'attention a un rôle primordial d'interrupteur, permettant d'interrompre le nombre de pulsations perçues par le pacemaker. Ainsi selon ce modèle, les variations de perception temporelle peuvent être attribuées notamment à la vigilance (au niveau du pacemaker) et à l'attention du sujet pour le contrôle de l'interrupteur. La mémoire de travail peut aussi jouer au niveau du comparateur.

Bien que les expériences de Sonuga-Barke, Bitsakou et Thompson (2010) et de De Zeeuw (2012) ont dévoilé que dans le cadre du TDA/H les processus temporels sont indépendants et distincts des autres voies (déficits cognitifs et aversion du délai). Des auteurs comme Smith et al(2002) considèrent qu'il peut tout de même exister une interaction entre le déficit d'attention et le manque de vigilance (dû à l'aversion du délai) ; ainsi les difficultés de perception et de production temporelles observées chez le TDA/H ne seraient pas indépendantes. Les autres déficits présents chez le TDA/H participeraient

à diminuer les capacités temporelles, en plus d'un déficit pur dans ces compétences, qui serait tout de même présent et isolable sur les tâches de discrimination, entre de très brefs intervalles de temps. Ce déficit va impacter de nombreux aspects de leur comportement, de leur cognition (notamment la parole, les coordinations motrices rythmique etc.).

Il a été démontré dans les tâches d'estimation de durées, que dans le cadre de l'utilisation de stratégies permettant la focalisation de l'attention sur l'activité temporelle (comptage à voix haute du temps qui s'écoule), les sujets dévoilent de meilleures capacités de perception temporelle. (Clément et DroitVolet., 2006).

L'augmentation de la charge cognitive (double tâche, ajout de distracteur) va augmenter l'attention nécessaire sur une tâche temporelle, les erreurs seront plus nombreuses et le temps va sembler passer plus vite. (Taagten et al 2007)

B) Mémoire de travail et les processus temporels

Dans les modèles cognitifs des processus temporels, la mémoire de travail possède toujours une place très importante dans l'analyse du temps. En effet, si les mécanismes internes permettent de ressentir le passage du temps, il est absolument nécessaire de pouvoir garder une copie de cette perception en mémoire de travail pour permettre une comparaison et un jugement avec des intervalles de temps standard gardés dans une mémoire à plus long terme. Cette mémoire à long terme permet aussi l'élaboration structurée d'une chronologie des événements dans un ordre spécifique nécessaire dans les tâches d'organisation et de planification relatives à un déroulement temporels.

Depuis les premiers modèles théoriques du TDA/H, Barkey pensait que le défaut d'inhibition comportementale entraînait indirectement un déficit de mémoire de travail chez le TDA/H. Il proposait que ces difficultés, à maintenir en mémoire des informations dans l'optique de les manipuler mentalement, provoqueraient par la suite des altérations de la perception du temps subjectif. De plus l'inattention en elle-même peut provoquer des diminutions des capacités de mémoire de travail dans les situations de tests.

Comme pour l'attention, l'interaction entre mémoire de travail et les processus temporels est encore débattue pour déterminer si ces deux processus sont déficitaires de façon indépendante chez les TDA/H ou si le déficit en mémoire de travail provoque celui existant dans la perception du temps (Lee, 2018).

2-Déficit des processus temporels selon leur modalité

Il n'existe pas un unique processus temporel mais une multitude de mécanismes permettant la perception et l'interaction de l'individu avec le flux du temps. Dans le cadre du TDA/H si le déficit temporel existe bel et bien, il est important de pouvoir observer dans quels types de tâches de timing ils sont en difficulté, pour ainsi déterminer quels sont les processus qui sont directement affectés par la pathologie. Nous allons étudier les différents processus temporels à travers une approche conjointe de la classification de Coull et Nobre (2008) ainsi que selon les processus temporels dégagés par Toplak & Tannock (2006).

A) Timing explicite

- *Discrimination de durée :*

Correspond à la comparaison de deux durées différentes (de façon visuelle ou auditive) qu'il faut différencier pour déterminer laquelle est la plus longue (Timing explicite perceptif).

La discrimination de durée est la tâche où les enfants TDA/H sont le plus déficitaires par rapport à la norme. Ils ont besoin d'une plus grande différence de durée, entre les deux intervalles de temps proposés, pour parvenir à déterminer lequel est le plus long ; et font plus d'erreurs que la norme que le stimulus soit auditif ou visuel. (Rubia et al, 2003 ; Toplak et Tannock, 2006 ; Noreika, 2013). Ces observations ont été faites à partir de durées supérieures à une seconde mais des résultats similaires peuvent être obtenus pour 300ms et 800ms (Yanga, 2007 ; Marx 2017). Il a été retrouvé que la modalité auditive est préférée à la visuelle pour obtenir de meilleurs résultats chez les TDA/H (Toplak & Tannock, 2005).

- *Production de durée :*

Habilité à produire un intervalle de temps qui a été demandé de façon explicite (Timing explicite moteur).

Les TDA/H sont moins précis que le groupe contrôle dans ce type de tâches (Van Meel et al., 2005 cité par Toplak & Tannock, 2006). Le nombre d'erreurs croît avec l'augmentation de la longueur des durées demandées et ce d'autant plus rapidement pour les TDA/H (Cappella, Gentile & Juliano, 1977). De manière générale les durées produites sont plus courtes que la durée demandée (Noreika, 2013).

-

Reproduction de durée :

Aptitude à produire une durée identique à une durée qui vient d'être présentée au sujet (Timing explicite moteur).

Ici aussi, le nombre d'erreurs commises par les TDA/H est plus importante que la norme, et ils ont tendance à produire des intervalles de temps trop courts par rapport au modèle (Toplak et Tannock, 2006). Si les durées sont plus longues, les TDA/H vont voir augmenter leur nombre d'erreurs (Barkley, 2001). Il est à noter que cette tâche est particulièrement difficile pour les TDA/H car elle demande l'utilisation de nombreuses fonctions cognitives en plus de la perception temporelle (mémoire de travail, attention, inhibition durant l'observation du modèle etc.). La présence de distracteurs externes à la tâche sera d'autant plus délétère pour les TDA/H.

- *Synchronisation sensori-motrice et continuation :*

Pouvoir synchroniser un mouvement avec un rythme externe à travers des stimuli répétitifs et parvenir à garder ce rythme après la disparition des stimuli (Timing explicite moteur).

Les TDA/H sont moins précis et plus variables dans leurs réponses que la norme mais sans différence selon la modalité sensorielle du stimulus. Ils ont beaucoup de mal à se synchroniser avec le stimulus externe et ont tendance à donner un tempo interne qui est différent. (Noreika et al, 2013 ; Rubia et al., 1999 in Soppelsa, Marquet-Doléac, Albaret, 2006).

- *Jugement temporel :*

Capacité à distinguer si deux stimuli sont séparés avec un intervalle de temps entre les deux ou unis dans un unique stimulus (Timing explicite perceptif).

Ce mécanisme est peu étudié, l'expérience de Brown & Vickers, 2004 (in Toplak et Tannock, 2006) n'a pas dévoilé de différence significative entre les TDA/H et le groupe contrôle.

-

Estimation verbale :

Correspond à l'estimation verbale de durée d'un intervalle de temps donné par un stimulus ou la durée d'un évènement (Timing explicite perceptif).

Des scores significativement inférieurs aux groupes contrôle ont été retrouvés pour les TDA/H. Quand on leur demande d'estimer une durée, ils vont répondre une durée bien supérieure à la réalité (McGee et al., 2004 cités par Toplak & Tannock, 2006). Cette information laisse penser que le temps est subjectivement plus long pour les TDA/H. Chez les TDA/H adultes, le temps est moins surestimé mais il existe une variabilité des réponses plus importante que dans la norme (Pollak et al, 2009).

B) Timing implicite

- *Tempo moteur spontané :*

Rythme interne et spontané qui émerge quand on demande à un individu de frapper en rythme dans ses mains ou sur un objet (Timing implicite moteur ou émergent).

Nous retrouvons encore des scores inférieurs et plus variables que la norme pour les TDA/H. Ici la variabilité est inter-individuelle mais aussi intra-individuelle (Toplak et Tannock, 2006). Des résultats contradictoires sont possibles avec parfois une variabilité qui n'est pas retrouvée chez les TDA/H

(Rubia, 2003, in Noreika, 2013).

- *Anticipation :*

Aptitude à prédire un intervalle de temps avant l'apparition d'un évènement après avoir expérimenté l'intervalle de temps à anticiper. (Timing implicite perceptif exogène).

•

Des décalages entre l'intervalle de temps réel et celui anticipé sont présents chez les TDA/H. Ils ont tendance à répondre de manière trop précoce. L'anticipation est plus variable chez les TDA/H (intraindividuelle) (Toplak et Tannock, 2005, 2006).

Prédiction temporelle sérielle :

Retrouver un modèle rythmique parmi différents modèles présentés en amont (Timing implicite perceptif endogène).

Les erreurs sont nombreuses chez les TDA/H, que la durée des modèles soit inférieure ou supérieure à la seconde (Rubia, 2003, 2007).

Ces études dévoilent, que l'observation précise des processus temporels du TDA/H, concorde avec les observations cliniques qu'il est possible d'effectuer auprès de cette population. Le temps leur semble plus long dans les situations d'attente qu'ils essayent d'éviter le plus possible, et leur organisation temporelle est très difficile.

Le timing explicite est le versant le plus étudié chez les enfants TDA/H. De manière générale il semblerait que le sujet TDA/H perçoive une impression subjective du temps plus lente, due à un rythme interne plus rapide que la norme (Marx, 2017). Ils surestiment et sous-produisent pour une même durée. Leurs réponses souffrent de grande variabilité inter et intra individuelle.

Le timing implicite est moins étudié et les résultats méritent d'être répliqués dans d'autres expériences pour pouvoir confirmer leur validité.

-

La question de l'interaction entre les processus cognitifs (attention et mémoire de travail) et processus temporels reste d'actualité tant la perception temporelle est étroitement liée à ses capacités cognitives, autant au niveau fonctionnel qu'anatomique.

C) Interaction entre le méthylphénidate et les processus temporels

Si aujourd'hui les traitements non-médicamenteux dont les thérapies psychomotrices sont préférées en première intention, il existe un traitement pharmaceutique à travers l'utilisation de la molécule de méthylphénidate. Il existe une grande variété de formes de médicaments utilisant ce principe actif pour traiter les symptômes du TDA/H : Concerta LP, Medikinet, Quasym LP, Ritaline LP. L'interaction entre le mode de fonctionnement du principe actif et l'effet thérapeutique retrouvé chez les patients avec un TDA/H reste encore inconnue. La molécule semble bloquer la recapture de deux neurotransmetteurs : Dopamine et Noradrénaline. Ainsi ils resteraient plus longtemps dans l'espace inter-synaptique.

Le méthylphénidate est un psychostimulant dont l'efficacité sur les symptômes relatifs au TDA/H se retrouve autant au niveau moteur, cognitif et comportemental. Le traitement permet l'amélioration des capacités attentionnelles, d'écriture et de motricité fine. Il diminue l'hyperactivité, l'impulsivité et l'agressivité. Le patient est alors plus enclin à se contrôler et à adapter ses stratégies cognitives dans la résolution de problème. C'est pourquoi l'association entre le traitement médicamenteux et la rééducation psychomotrice coopèrent particulièrement bien ensemble car l'enfant est alors plus disponible, et dans de meilleures dispositions pour participer aux séances, et ainsi s'améliorer.

Les études cherchant à déterminer l'impact du méthylphénidate sur les processus temporels ne retrouve pas d'effet sur les capacités des participants sous traitement par rapport au groupe témoin, peu importe le processus temporel évalué moteur ou perceptif (Toplak et Tannock, 2006).

Pourtant il existe bien une interaction entre le méthylphénidate et l'évaluation des processus temporels due aux effets de la molécule sur les symptômes TDA/H, que sont l'impulsivité et l'inattention.

Les patients sous méthylphénidate voient diminuer leur taux d'impulsivité ce qui va améliorer de manière indirecte les performances des tâches d'anticipation et de production temporelle (Toplak et Tannock, 2006).

Nous avons pu voir précédemment l'influence particulière de l'attention sur les processus temporels et notamment sur l'horloge interne. Or il a été mis en évidence qu'une perturbation du taux de dopamine due à des substances actives, tels que la nicotine ou le méthylphénidate, peut agir sur l'horloge interne (Allman et Meck, 2011). De plus l'amélioration des capacités d'attention chez le

TDA/H propre à la prise de méthylphénidate va pouvoir diminuer l'impact de l'inattention sur le déficit des processus temporels.

IV- La prise en charge des déficits des processus temporels

1-Organisation du déroulement du temps

Les psychomotriciens peuvent aider les patients TDA/H à instaurer des outils pour leur permettre de prendre conscience de l'écoulement du temps et de mieux s'organiser en fonction.

Construire un emploi du temps avec l'enfant permet d'organiser et de visualiser l'enchaînement des activités et permet de se projeter dans le futur. L'enfant peut alors anticiper les différents moments de sa journée, que ce soit des moments de détente ou des moments de travail. De plus l'emploi du temps permet de matérialiser la semaine, et les différents moments de la journée, pour donner des repères temporels à l'enfant dans l'apprentissage du vocabulaire, et de la compréhension des références à utiliser, pour communiquer autour du temps avec l'adulte. Il peut alors parvenir à créer des approximations temporelles de la durée de ses activités pour les mettre en perspective avec l'organisation globale de la journée.

L'utilisation d'horloge adaptée ayant un minuteur visuel intégré telles que les horloges « Time Timer® » permet l'observation visuelle de l'écoulement du temps, et peut aider l'enfant à l'achèvement d'une tâche en cours (sachant qu'il a un temps limité pour la faire), ou permettant un arrêt prévisible des moments de détente pour diminuer la frustration de l'enfant.

Nous pouvons citer « My Time » (Min Tid® en suédois) qui est un programme à destination des enfants avec une déficience intellectuelle pour leur permettre de visualiser, d'explorer et de discuter des concepts temporels. Ce type d'approche semble efficace au vu des premières études cherchant à valider ce type d'approches (Janeslätt, 2014 ; Wennberg, 2018).

2-Les exercices de remédiation cognitive

Le psychomotricien peut proposer différentes activités autour des processus temporels, en utilisant les feedbacks et les renforcements positifs qu'il peut donner au patient pour améliorer ses capacités. Nous pouvons citer l'exemple de l'estimation de durée qui peut être rééduquée à l'aide d'un chronomètre. On demande au patient d'estimer le temps pour effectuer une activité, puis à la fin de la tâche, on lui présente le temps réel donné par le chronomètre.

La répétition, l'augmentation de la difficulté en fonction des progrès du patient sont primordiaux dans ce type d'approche, et ressemble aux protocoles de remédiation des fonctions cognitives. (Puyjarinet, 2017)

3-Les activités rythmiques

Le besoin de feedback précis demande l'utilisation d'outils de mesure de temps comme référence, c'est pourquoi les jeux vidéo thérapeutiques « serious game » semblent être une voie encourageante pour la rééducation des processus temporels rythmiques. Nous pouvons citer Interactive Metronome® qui est un programme informatique visant la rééducation du timing moteur à travers des exercices de rythme, demandant au patient d'effectuer un mouvement en rythme avec un stimulus rythmique auditif. Des feedbacks sonores et visuels participent à la rééducation pour synchroniser le patient sur le rythme externe. Des études ont déjà démontré l'efficacité de ce protocole au niveau de l'attention, de la mémoire de travail et des processus temporels chez les patients TDA/H (Shaffer, 2001 ; Namgung, 2015 ; Park, 2017).

D'autres activités rythmiques, telles que la danse ou les percussions peuvent être des pistes thérapeutiques intéressantes, car ayant déjà prouvées leur efficacité dans d'autres cadres pathologiques tel que Parkinson (Puyjarinet, 2017).

4-La méditation de pleine conscience

La méditation de pleine conscience ou mindfulness est une technique de relaxation permettant de focaliser son attention sur ses sensations corporelles et sur le moment présent sans jugement de valeur. Cette technique est à la base de nombreux protocoles thérapeutiques tels que MBI (Mindfulness-Based Interventions), le MBCT (Mindfulness-Based Cognitive Therapy) ou le MBSR (MindfulnessBased Stress Reduction). Les effets positifs du mindfulness sur les processus temporels ont déjà été démontrés chez les adultes sans pathologie (Droit-Volet, 2015). La perception subjective du temps pourrait potentiellement être liée à la conscience corporelle.

Conclusion de la partie théorique

Face aux données récoltées dans la littérature, il apparaît évident que les processus temporels peuvent avoir une importance fondamentale dans l'étiologie des signes cliniques du TDA/H et dans les difficultés rencontrées par cette population au quotidien. L'idée selon laquelle la vitesse de l'horloge interne des TDA/H est plus rapide, et entraîne une perception et une action sur le temps erroné, peut participer à expliquer de nombreux comportements relatifs aux TDA/H.

Il existe aujourd'hui de nombreux protocoles thérapeutiques pouvant être mis en place par les psychomotriciens pour améliorer les capacités et l'adaptation des TDA/H face à leur environnement. La difficulté de la prise en charge du TDA/H (comme tous les autres troubles psychomoteurs) provient de la grande variabilité d'expression du trouble, et les variabilités inter-individuelles de réponses face aux traitements. Il est primordial d'adapter le traitement aux patients, et le psychomotricien doit avoir à sa disposition un grand nombre d'outils thérapeutiques. De plus en plus de pistes de prise en charge innovantes voient le jour, pour trouver de nouveaux points d'accroche pour adapter les traitements psychomoteurs. Il est possible d'imaginer à partir des données scientifiques actuelles qu'une prise en charge du TDA/H puisse passer par le biais de la rééducation des processus temporels.

Cette partie pratique va présenter une prise en charge de deux enfants avec un TDA/H se basant sur un travail autour des processus temporels selon des modalités diverses. Le travail se focalisera en particulier sur le timing moteur de ces enfants, qui sera évalué dans le cadre d'un protocole cas unique.

Partie Pratique

I- Présentation des patients

Je vais présenter les deux enfants qui ont reçu une prise en charge spécifique des processus temporels et pour qui un protocole à cas unique a été proposé.

1-Louis

[...]

Indice de Compréhension Verbale (ICV) = 140	Indice de Raisonnement Perceptif (IRP) = 130	Indice de Mémoire de Travail (IMT) = 133	Indice de Vitesse de Traitement (IVT) = 93	Quotient Intellectuel Total (QIT) = 137
--	---	---	---	--

Bilan psychomoteur

6 ans 6 mois

Lors du bilan, il va se montrer volontaire faisant beaucoup d'efforts pour mener à terme les tests proposés. Louis s'exprime de façon adaptée et ses communications non verbales sont comprises. Il a tendance à se dévaloriser et à se décourager face à la difficulté ou à l'échec. Dans ces situations l'appui de l'adulte peut l'aider à repartir et reprendre confiance en lui.

Sa fatigabilité attentionnelle a entraîné une fin de bilan très difficile pour lui où est apparu de l'impulsivité et des difficultés de comportement. Il n'y a pas d'agitation motrice sur les temps de travail. Cependant, l'agitation est importante durant les temps informels, Louis a besoin de se lever et de bouger entre les temps d'activités. La connaissance droite/gauche est acquise sur lui et la réversibilité (sur autrui) ainsi que la décentration (entre objets) le sont également.

L'**attention soutenue** est évaluée avec le premier barrage du T2B. Sa vitesse est correcte mais Louis omet trop de signes, ainsi ses capacités d'attention soutenue sont problématiques.

Vitesse : 70 soit -0,8 ESIQ	Rendement : 77,5 soit +0,1 ESIQ	Index d'inexactitude : 14,2% soit -2,6 ESIQ
--	--	--

L'**attention divisée** est évaluée avec l'épreuve des visages de la NEPSY. Sa recherche s'organise de proche en proche de façon chaotique. Les capacités en attention divisée sont problématiques. Le score est également diminué du fait des difficultés d'organisation du balayage visuel.

Score temps : 180 soit -1DS	Score omissions : 8 soit -1,4DS	Score fausses alarmes : 1 soit +0,8 DS
--	--	---

L'**impulsivité** est évaluée avec le Laby 5-12. Louis ne va pas chercher le chemin avant son tracé. Quand il est bloqué, il se dévalorise mais s'oblige à rester dans la tâche. Plusieurs signes d'impatience apparaîtront rapidement Il existe une aversion au délai marquée, ainsi qu'un défaut d'inhibition qui n'est pas déficitaire mais problématique.

Indice général d'erreurs : 10,1 soit -1,8 DS	Indice d'inhibition : 3,03 soit -1,4DS	Indice d'aversion au délai : 4,7 soit -2,3 DS
---	---	--

Les **praxies idéomotrices** sont évaluées par le test d'imitation de gestes de Bergès-Lézine. Louis ne présente pas de difficulté dans l'analyse de ces gestes et dans le déliement digital. Les praxies idéomotrices correspondent à ce que l'on attend à son âge.

Gestes simples : 20/20 soit quartile supérieur 6 ans	Gestes complexes : 14/16 soit quartile supérieur 6 ans
---	---

Les **praxies visuo-constructives** sont évaluées par la figure de Rey A. Louis n'a pas perçu la structure globale de la figure. Les praxies visuo-constructives de Louis correspondent à ce qui est attendu à son âge, même si la reproduction de mémoire est plus problématique (le problème semblerait plutôt venir d'un manque d'attention).

Temps de reproduction : 11min soit centile 25	Score de copie : 23 soit +0,5DS	Score de mémoire : 8 soit -1DS
--	--	---

La **planification** est évaluée avec la Tour de Londres. Louis visualise les étapes avant de manipuler. Les problèmes les plus difficiles vont faire apparaître de l'impulsivité motrice. Les scores de planification correspondent à ce que l'on attend à son âge.

L'évaluation de l'**écriture** s'effectue avec le BHK. Louis est droitier, il écrit avec une posture stable et symétrique, le buste est droit en appui sur ses avant-bras. Il a beaucoup de mal à se concentrer. Il démarrera très vite mais bâcle son écriture.

Score de vitesse : 34 caractères en 5 min soit -0,7 DS	Score de production : 34 soit -2DS
---	---

L'évaluation de la motricité s'effectue avec le MABC

Les difficultés sur les épreuves de maîtrise de balles proviennent du manque d'anticipation pour préparer la réception de la balle. Les épreuves de dextérité manuelle sont difficiles dû à la mauvaise compréhension des consignes et un manque de précision

Dextérité manuelle : 5 soit entre le 5ème et le 15ème percentile	Maîtrise de balle : 5 soit entre le 5ème et le 15ème percentile	Équilibre : 0,5 soit supérieur au 5ème percentile	Score total : 10,5 soit supérieur au 15ème percentile
---	--	--	--

[...]

2-Victor

Anamnèse :

Victor est un enfant de 7 ans [...]

Bilan d'orthoptie :

(6 ans 2 mois)

On trouve chez Victor des résultats normaux pour l'acuité visuelle, la vision stéréoscopique, la vision des couleurs, la motilité et la poursuite visuelle qui est lisse avec des saccades bien calibrées de bonne cadence. Les capacités fusionnelles de Victor sont diminuées, ce qui peut expliquer sa vision parfois trouble et les céphalées frontales.

[...]

Bilan neuropédiatre :

(6 ans 7 mois)

[...]

.

Bilan psychomoteur :

(6 ans 1 mois)

Durant le bilan, la compréhension verbale et non-verbale est correcte mais peut être altérée par les difficultés attentionnelles. Il a une peur de l'échec qu'il ne sait pas gérer, et face à la difficulté ne peut pas maintenir ses émotions (colère, frustration, agitation, grande impulsivité). Il a un besoin de l'adulte pour le rassurer et le maintenir dans la tâche. Il a tendance à se dévaloriser mais va rester volontaire tout au long du bilan. La connaissance droite, gauche est acquise sur lui mais pas en réversibilité ou en décentration.

L'**attention sélective** est évaluée avec l'épreuve des chats (Nepsy) et le Thomas. La concentration est difficile à maintenir, il fait peu d'erreurs mais s'arrête plusieurs fois durant l'épreuve.

Score temps : 147 soit -2,9DS	Score omissions : 1 soit +0,1DS	Score fausses alarmes : 0 soit -0,2DS
--------------------------------------	--	--

Durant l'épreuve du Thomas, il va appliquer une stratégie de proche en proche et va vouloir rapidement arrêter le test face au nombre de signes à observer.

Score = -25 soit 3,7DS

L'**attention divisée** est évaluée avec l'épreuve des visages (Nepsy). Il est très difficile pour lui de maintenir son attention sur deux éléments distincts, et il faudra lui répéter plusieurs fois la consigne. Il est très facilement distrait, que ce soit sur la modalité auditive ou sur la modalité visuelle. La recherche est peu organisée.

Score temps : 105 soit +1,3DS	Score omissions : 12 soit +1,3DS	Score fausses alarmes : 0 soit -0,8DS
--------------------------------------	---	--

Les **praxies idéomotrices** sont évaluées avec le Bergès-Lézine. Il obtient des résultats déficitaires pour les gestes simples et les gestes complexes avec des difficultés à positionner les extrémités des gestes et la reconnaissance des doigts.

Gestes simples : 15/20 soit moyenne 4 ans	Gestes complexes : 4/16 soit quartile supérieur 3ans
--	---

Les **praxies visuo-constructives** sont évaluées avec la figure de Rey B. La reproduction est problématique avec des difficultés graphiques qui diminuent le score. La proportionnalité n'est pas respectée et il manque des éléments. Le score de mémoire est correct malgré des éléments déformés.

Score reproduction : 15 soit Centile 25	Score de mémoire : 10 soit Centile 40
--	--

La **perception visuelle** est évaluée par le DTVP. Tous les domaines de la perception visuelle obtiennent des résultats déficitaires. Il faut prendre en compte que son échec l'a beaucoup affecté durant toutes ces épreuves.

Coordination oculo-manuelle : -4 soit 2,7DS	Discrimination figure-fond : 9 soit -1,2DS	Constance de forme : 1 soit -1,8DS	Orientation spatiale : 3 soit -2,2DS	Relation spatiale : 3 soit -2DS
--	---	---	---	--

Pour l'**écriture**, la prise du crayon est réalisée avec 4 doigts de la main droite. Les mouvements scripteurs proviennent du poignet et de la main avec aucun mouvement digitaux. Le tonus est très élevé surtout dans le bras droit. Le geste est donc peu contrôlé mais saccadé et se réalise par à-coups. Le tracé est très appuyé et anguleux. Le geste graphique est encore imprécis et mal contrôlé.

La **motricité** est évaluée avec le MABC et le Charop-Atwell. La dissociation des doigts est difficile ce qui le handicap dans sa motricité fine, il a du mal à associer vitesse et précision, et lui donne un score déficitaire. Son équilibre aussi bien statique que dynamique est déficitaire.

Dextérité manuelle : 7,5 soit inférieure au 5ème percentile	Maîtrise de balle : 2 soit supérieure au 15ème percentile	Équilibre : Inférieur au 5ème percentile	Score total : 16,5 soit inférieur au 5ème percentile
--	--	---	---

Les coordinations globales sont aussi déficientes, les mouvements sont raides et crispés et il sera particulièrement en échec dans les coordinations intersegmentaires décomposées. Il a du mal à contrôler son mouvement et s'emballer très rapidement.

Score objectif :20 soit -3DS	Score subjectif :18 soit -3,3DS	Score total :38 soit -3,9DS
-------------------------------------	--	------------------------------------

Victor est un enfant volontaire mais anxieux avec des difficultés attentionnelles et motrices associées à une grande fatigabilité. Les diagnostics de TDA/H et de Trouble Développemental de la Coordination (TDC) ont été posés.

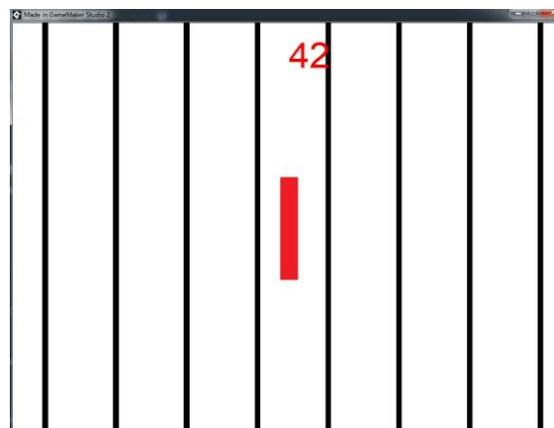
II- Présentation du projet de prise en charge

Un projet de prise en charge commun pour ces deux enfants a été mis en place avec des adaptations individuelles relatives à la spécificité de leur profil respectif et aux déroulements des séances avec eux.

L'hypothèse mise en avant était qu'une rééducation axée autour du rythme permettrait une amélioration des capacités de synchronisation sensori-motrice et de continuation d'un rythme externe autant au niveau d'une meilleure précision que d'une diminution de la variabilité.

1-Le métronome interactif

La modalité principale de prise en charge est inspirée de l'Interactive Métronome®. Mais c'est une technique qui est en France difficilement accessible autant d'un point de vue financier que logistique pour accéder à la formation de ce type d'outil. C'est pourquoi j'ai mis en place un programme alternatif gardant le même concept de base à partir d'une version gratuite de « GameMaker Studio 2 ». L'enfant est face à un écran où se trouve un rectangle rouge immobile au centre, qui représente le joueur et des barres verticales se déplaçant à vitesse constante de droite à gauche représentant les stimuli du rythme externe à reproduire en appuyant sur un bouton à chaque fois qu'une barre verticale passe sur le rectangle rouge.



Un système de feedback auditif est intégré au logiciel qui selon le décalage ou la synchronisation du rythme de l'enfant avec le rythme externe va déclencher l'apparition d'un son qui varie selon si l'enfant est en retard, synchrone ou en avance par rapport au stimulus. Un système de score et d'un mode à deux joueurs ont été intégrés pour augmenter l'aspect ludique et la motivation des enfants.

Pour interagir avec le logiciel, plusieurs modalités ont pu être essayées :

- _En appuyant sur un bouton du clavier.
- _En frappant dans ses mains en rythme.
- _En appuyant sur un buzzer de pâte à modeler.

Ces deux derniers ont été possibles à partir d'un « Makey Makey » qui permet d'interagir avec le logiciel quand un circuit électrique de faible voltage se ferme (les enfants avaient un bracelet en aluminium relié au « Makey Makey » sur le bras gauche et frappaient de la main droite un élément relié à l'appareil, au contact le circuit se ferme et envoie une

La création de son propre outil a permis d'adapter le logiciel au fur à mesure des séances selon le déroulement de la thérapie avec les enfants (adaptation de la précision et du rythme, des modalités d'interaction avec le logiciel).

2- Rhythm Paradise

Rhythm Paradise est un jeu vidéo fonctionnant sur la console de jeu Nintendo DS. Il s'agit d'un jeu de rythme demandant d'appuyer sur l'écran tactile en rythme avec la musique du jeu que ce soit avec une touche de l'écran tactile sur la même fréquence que le rythme ou la reproduction d'enchaînements rythmiques différents selon des indices visuels et sonores (voir annexe 1). Ce support a été choisi car il est très ludique pour les enfants qui connaissent ce type de jeu, mais qui permet d'en faire une découverte sous un jour nouveau.

3-Déplacement en rythme

Il était demandé aux enfants d'écouter une musique au rythme très marqué pour ensuite marcher dans la salle de psychomotricité de façon à ce que leurs pas soient synchrones avec le rythme. Une fois que l'enfant parvient à se synchroniser au rythme, on change de chanson avec un tempo différent pour que l'enfant essaye de s'adapter en fonction.

4- Manipulation du chronomètre

Chaque enfant s'est vu confié un chronomètre simple qu'ils ont appris à manier et qu'ils ont pu emporter chez eux. Le but était de responsabiliser l'enfant en lui donnant un objet auquel il devait

prendre soin et avec lequel il avait le droit de s'amuser à mesurer des intervalles de temps. En plus du chronomètre, les enfants recevaient un carnet comportant différentes activités quotidiennes (se brosser les dents, mettre la table, se laver etc...). La consigne était, qu'avec leurs parents, ils remplissent pour chaque activité, en amont, combien de temps ils pensent que cela prendrait et qu'en aval, ils remplissent le temps réel de l'activité. Ensuite, en séance, nous revenons sur les activités de la semaine et les différences entre durée prédite et durée réelle. A partir des données réelles, nous avons ensemble créé une frise chronologique individuelle comprenant un pictogramme dessiné par l'enfant représentant l'activité (voir annexe 2). Cette frise servait à donner des repères temporels personnels aux enfants. L'échelle de temps choisie était de 45 min pour correspondre à la durée des séances de psychomotricité.

5-Production, reproduction et estimation de durée

J'ai pu proposer différentes activités telles que l'écriture ou la construction avec des pièces de bois à partir desquelles sont demandées aux enfants des consignes en rapport avec le temps :

- J'écris le modèle d'une phrase que l'enfant doit réécrire dans le même intervalle de temps (reproduction).
- L'enfant doit écrire une phrase et estimer le temps qu'il a pris pour achever la tâche (estimation).
- Je donne des pièces de bois que l'enfant doit empiler durant une durée déterminée à l'avance et il s'arrête quand il pense que le temps est écoulé (production).

Un travail sur la variation des durées a aussi pu être proposé où je lui demandais de répéter une activité en diminuant ou en augmentant l'intervalle de temps nécessaire pour achever la tâche.

6- Le protocole à cas unique

Pour pouvoir évaluer l'effet de la prise en charge au cours du temps, j'ai décidé de mettre en place un protocole à cas unique. En effet ce type d'évaluation permet une mesure quantitative objective grâce aux données qui seront récoltées avec les patients au début de chaque séance. L'objectif de ce protocole va être de déterminer s'il est possible d'améliorer les capacités de timing explicite moteur, à travers une prise en charge axée autour du rythme, et si l'amélioration du timing moteur a un effet sur le reste des signes cliniques du TDA/H.

La mesure de début de séance correspond à deux tâches qui sont enchaînées :

La première ligne de base correspond à une activité de synchronisation motrice. Il est demandé aux enfants d'appuyer sur un bouton de façon synchronisée avec un rythme externe de 60 bpm qui est donné à travers des stimuli auditifs issus d'un métronome. Les enfants sont évalués sur 20 presses de bouton ce qui correspond à 20 secondes d'évaluation. Cette tâche permet d'évaluer, au niveau du timing moteur explicite, les capacités des enfants à internaliser un rythme externe qui rentre en conflit avec leur tempo moteur émergent. Ils doivent parvenir à anticiper l'apparition des stimuli pour répondre de façon synchrone à ces derniers en estimant l'intervalle de temps entre les stimuli constitutifs du rythme.

La seconde ligne de base correspond à une activité de continuation motrice. De manière continue après la première tâche, les enfants doivent continuer à appuyer sur le bouton en rythme (malgré l'arrêt du métronome et l'absence de stimuli externe) en essayant de rester synchrone au rythme externe de 60bpm qui leur a été présenté, et qu'ils ont pu expérimenter de façon motrice pendant les 20 premières secondes. Les enfants sont évalués sur 40 presses de bouton ce qui correspond à 40 secondes d'évaluation. Nous mesurons si l'internalisation du rythme externe se prolonge dans le temps et les capacités de mémorisation du timing.

Les données sont récoltées à partir d'un chronomètre qui recueille à chaque pression du bouton l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre les deux dernières pressions. Ce qui nous permet de capter avec le calcul « 1-x » la différence pour chaque stimulus entre le rythme externe et le rythme moteur accompli par les enfants. La précision et la variabilité seront les principales variables évaluées. L'entièreté de cette ligne de base dure 60 secondes, j'ai choisi de garder une ligne de base assez courte pour qu'elle ne vienne pas gêner les enfants qui peuvent facilement s'exaspérer d'une telle tâche répétitive. De plus une ligne de base courte permet d'éviter les effets d'apprentissage et de garder le maximum de temps des séances pour la prise en charge psychomotrice.

III- Déroulement des séances

Si le protocole à cas unique permet une évaluation quantitative des performances des deux enfants, nous allons étudier comment se sont déroulés leurs progrès de façon qualitative. De manière générale, nous verrons l'impact de la motivation sur l'engagement et la volonté des enfants à se focaliser sur la tâche.

Dans chaque activité présentée, j'accompagnais les enfants en les rassurant, les encourageant, en leur donnant des feedbacks et en les renforçant quand ils s'amélioraient. J'ai aussi pu leur proposer des stratégies spécifiques et des aménagements pour s'adapter à leurs difficultés.

Les séances duraient 45 min en relation duelle avec un enfant.

1-Le métronome interactif

La plus grande partie des séances consistait en plusieurs sessions de métronome interactif de durées variables mais n'excédant pas 2 minutes par séance.

L'enfant était placé assis face à l'ordinateur. Les différentes modalités d'interaction avec le programme ont pu être testées. Le buzzer en pâte à modeler s'est révélé être un mauvais outil. En effet, malgré l'intérêt ludique, les enfants ont eu tendance à plus jouer à enfoncer leurs doigts dans la pâte à modeler que de l'utiliser comme buzzer. Frapper dans les mains s'est retrouvé être plus efficace et les enfants ont apprécié le système de capture qui était installé avec amusement (je leur disais que je les transformais en robot avec les bracelets d'aluminium nécessaires à la capture). La pression sur le clavier a pris du temps à être efficace car ils ont eu tous les deux tendance à rester constamment appuyés sur la touche sans faire varier leur tonus pour la relâcher. En effet, les deux enfants étaient hypertoniques durant les séances de métronome, étaient très concentrés et ne voulaient rater aucuns stimuli.

Si Louis a su s'adapter, Victor a eu plus de mal à gérer sa frustration à l'écoute des feedbacks négatifs et est resté très tonique durant toute la prise en charge (il appuyait sur le bouton avec tout le corps, la tête allant d'avant en arrière en suivant le rythme). Au début de la prise en charge, les enfants ne prenaient pas particulièrement en compte les feedbacks sonores, se focalisant uniquement sur les stimuli visuels de l'écran. Pourtant ils se sont mis progressivement à faire attention aux feedbacks sonores pour réguler le tempo de leurs réponses motrices, à accélérer légèrement quand le son « trop tard » était émis et ralentissant quand le son « trop tôt » était émis. Ils ont aussi développé tous les deux une aptitude à partir de la troisième séance à laisser passer un temps avant de reprendre le rythme quand ils étaient trop désynchronisés pour pouvoir repartir sur de meilleures bases.

Les premières séances étaient difficiles pour les deux enfants, du fait à leur problème tonique et au manque de motivation face au jeu de base qui s'est notamment exprimé par de nombreux moments de déconcentration. L'ajout à partir de la seconde séance d'un score, puis d'un mode multijoueur (où je jouais avec eux) a permis d'augmenter leur motivation au point où ils réclamaient le jeu durant les séances suivantes ; voulant améliorer leurs scores. A partir de l'ajout du score, les deux enfants ont réussi à chaque séance à améliorer leur score (à l'exception de Victor durant la dernière séance où il a stagné à des niveaux de scores similaires, un effet plafond commençait à apparaître.).

La précision nécessaire pour le métronome a pu être augmentée progressivement durant les séances sans qu'un impact important sur leurs scores se soit fait ressentir. La vitesse a pu être aussi augmentée

progressivement passant de 45 bpm pour les premières sessions à 85 bpm pour Louis et 75 bpm pour Victor.

Durant les deux dernières sessions nous avons pu essayer à plusieurs reprises, à partir d'une minute de jeux où les enfants étaient convenablement synchronisés au rythme, de masquer l'écran pour qu'ils essayent de continuer le rythme sans les réafférences visuelles. Quand un léger décalage apparaissait, ils peuvent utiliser les feedbacks sonores pour combler l'écart mais dès que l'écart devient trop important, ils étaient trop perdus pour reprendre convenablement le rythme. Ils sont tous les deux parvenus à garder le tempo pendant 10 à 20 secondes avant de totalement le perdre.

2- Rhythm Paradise

Les enfants ont tout de suite été motivés par ce média, et deux mini-jeux ont pu être mis en place. Dans le premier mini-jeu, il fallait anticiper l'apparition d'un événement à l'aide d'un rythme de 5 stimuli (l'évènement apparaissant au 5^{ème} stimulus). La difficulté du jeu étant élevée (avec un rythme changeant à chaque fois), les patients ont eu beaucoup de mal à appréhender le jeu. J'ai pu leur proposer des stratégies d'adaptation en comptant jusqu'à 5 pour prévoir l'apparition de l'évènement (au début c'est moi qui comptait et c'est ensuite eux qui devait compter à haute voix) ou frapper à côté de l'écran tactile en rythme pour toucher l'écran tactile lors de l'apparition de l'évènement. Louis s'est très vite saisi des stratégies et a pu s'améliorer rapidement. Victor a eu plus de mal ayant des difficultés à gérer la frustration à chaque échec. Mais les deux sont restés concentrés sur la tâche et ont été très volontaires sur cette partie.

Le second mini-jeu consiste à écouter des rythmes pour ensuite les reproduire. Là encore des stratégies ont pu leur être proposées pour maintenir les rythmes en tête, mais il semblerait que la difficulté provienne principalement de l'analyse du rythme pendant la phase d'écoute, car la reproduction à l'oral du rythme était déjà fautive avant même la reproduction sur la console de jeu.

Peu de progrès a émergé de ce jeu et les bonnes réponses étaient souvent dues à des réponses presque aléatoires.

3-Déplacement en rythme

Louis a peu apprécié cette activité et son manque de motivation est apparu dans ses résultats, il marchait dans la salle sans se soucier du rythme de la musique, marchant selon son rythme interne. Après des encouragements, il a bien voulu essayer l'exercice mais de grosses difficultés lors des changements de rythme sont apparues.

Victor a beaucoup plus apprécié cet exercice, faisant de la danse, il était plus habitué à extraire le rythme d'une musique pour l'utiliser. Cela lui demandait tout de même beaucoup d'attention et un temps d'adaptation pour chaque musique (il avait tendance à rester sur le rythme de la musique précédente).

Pour améliorer leurs performances nous sommes passés par différentes étapes, imitation de l'adulte, frapper le rythme avec les mains et hochement de la tête en rythme.

4- Manipulation du chronomètre

Une des principales difficultés perçues dans le travail sur le temps explicite perceptif fut la compréhension du vocabulaire lié au passage du temps. En effet les deux enfants n'avaient qu'une vague idée de ce que représente une seconde, une minute ou une heure. La priorité fut alors de donner des repères temporels pour permettre la compréhension et l'utilisation de ces termes (d'où l'idée de créer une frise chronologique personnelle, voir Annexe 2). La compréhension de la seconde fut relativement aisée à partir de métronome à 60bpm qui donne un repère auditif constant de la durée d'une seconde. Les minutes ont été plus difficiles à aborder et les heures n'ont pas été travaillées. Les deux patients ont vite compris le fonctionnement du chronomètre et ont pu s'amuser à mesurer des durées chez eux pendant 4 semaines. Chaque semaine une activité en particulier était choisie pour ouvrir le dialogue avec les enfants autour de la différence entre la durée estimée et la durée réelle. Les premières estimations étaient aberrantes pour les deux enfants allant de 10 à 20 minutes supplémentaires pour une activité de 3-5 minutes. (ex : se brosser les dents 3 à 5 minutes de temps réel pour les deux, Louis avait estimé 16 minutes et Victor 19 minutes). Les retours ont permis une diminution de la surestimation même si la perception des durées est restée très difficile (écart entre 5 et 10 minutes à la fin de la prise en charge pour les deux enfants).

5-Production, reproduction et estimation de durée.

L'exercice de reproductions temporelles a été relativement bien exécuté par les deux enfants. Ils ont été capables de reproduire la même activité dans un temps similaire au modèle que je leur avais donné. Nous avons aussi pu faire varier la reproduction en leur donnant un modèle qu'il fallait reproduire plus lentement ou plus rapidement.

L'activité de productions temporelles a été difficile pour Louis qui s'est focalisé sur l'activité de construction en oubliant à plusieurs reprises l'activité de production temporelle. Quand il parvenait à faire les deux choses en même temps ses performances étaient bonnes à 5 secondes près sur de courtes durées (inférieures à 1 minute). Victor avait des productions temporelles plus variables et moins précises qui variaient entre 10 et 15 secondes par rapport à l'intervalle demandé.

Pour les exercices d'estimations temporelles un même schéma s'est produit pour les deux enfants. Sur une même séance, les estimations temporelles au départ étaient surestimées et ils leur semblaient prendre plusieurs minutes de plus qu'en réalité pour écrire un court texte. Après la réafférence du temps réel, l'estimation suivante prenait en compte leur surestimation initiale et avait tendance à être légèrement sous-estimée. Enfin une estimation relativement proche de la réalité était atteinte. Mais ces résultats ne durent pas dans le temps et aux séances suivantes le même schéma se répète.

IV- Résultats et analyses

Pour évaluer l'évolution des mesures de ligne de base, un protocole A-B-A' a été mis en place. Durant les séances A, la ligne de base est mesurée mais aucune prise en charge spécifique au timing n'est mise en place, cela correspond à 4 séances en amont.

Durant les séances B, la prise en charge psychomotrice relative au timing s'est déroulée avec les enfants, là aussi durant 4 séances.

Les séances A' constituent le retour à une prise en charge psychomotrice sans relation avec le timing, cela correspond à 2 séances pour Louis et 3 séances pour Victor.

Ce protocole permet d'utiliser le patient comme son propre témoin, en effet ses capacités sont évaluées avant, durant et après la prise en charge. S'il existe un réel effet du traitement, alors nous devrions retrouver une amélioration des variables mesurées dans les mesures B par rapport aux mesures A, puis un retour aux performances du début sur les séance A'.

À partir des données des lignes de base récoltées, nous avons calculé la moyenne, la médiane, l'écarttype, les étendues, une mesure de la stabilité des données (qui correspond au pourcentage des valeurs comprises entre plus et moins vingt-cinq pour cent autour de la médiane). Le degré relatif de variation de la médiane a été calculé à partir de la différence entre la médiane de la première moitié des données puis de la seconde moitié. Le degré absolu de variation a été calculé à partir de la différence entre la première et la dernière valeur de chaque mesure. Pour ces deux degrés de variation, un résultat négatif correspondrait à une amélioration tandis qu'un résultat positif correspond à une détérioration.

Sur les courbes de résultats qui seront présentées ci-dessous, les abscisses correspondent aux mesures dans le temps des séances, avec la date et le type de séance (A, B ou A') et l'ordonné correspond à la valeur de temps de réponse relative à une seconde (le rythme externe étant de 60bpm ou 1 stimulus par seconde). Ainsi plus la valeur est proche de 0 plus le sujet est proche de la synchronisation et est donc précis. Au niveau des écarts types, plus la valeur est proche de 0 plus la variabilité de ses réponses diminue.

1-Louis

A) Synchronisation

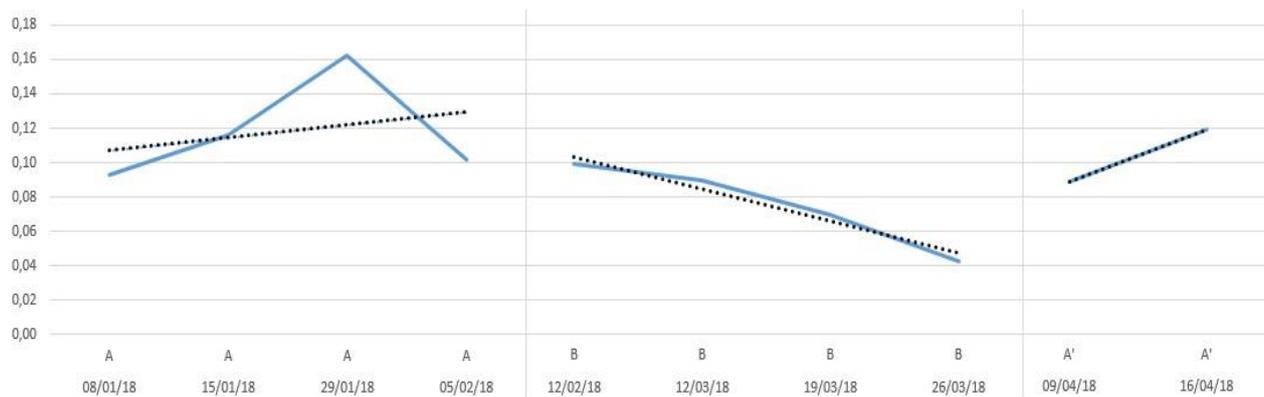


Figure 12. Courbe de la moyenne pour la tâche de synchronisation de Louis

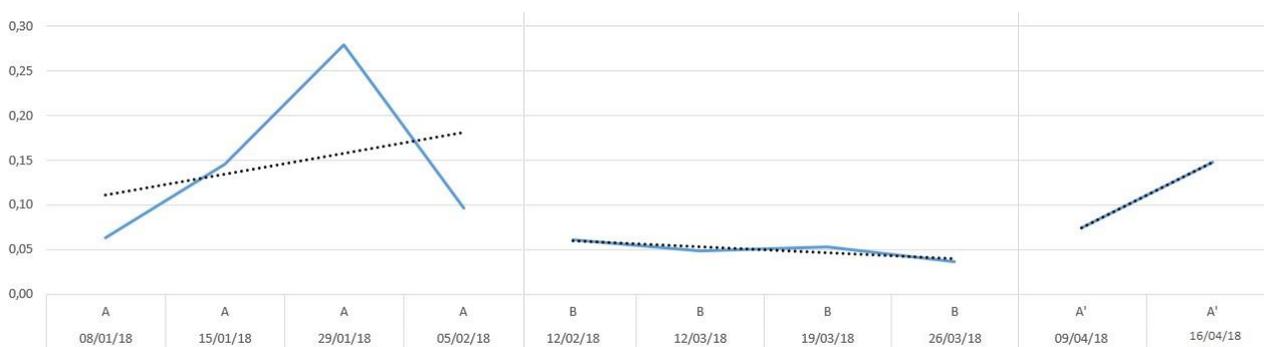


Figure 13. Courbe de l'écart type pour la tâche de synchronisation de Louis

	A	B	A'
Moyenne	0,12	0,08	0,10
Écart type	0,15	0,05	0,11
Médiane	0,07	0,07	0,07
Étendue	0,01 – 0,54	0,01 – 0,18	0,01 – 0,46
Stabilité	30%	38%	34%
Degré de variation de la médiane	-0,02	0,00	0,00
Degré de variation absolue	0,09	0,03	-0,05

Tableau 1. Analyse des mesures de la tâche de synchronisation de Louis

Les mesures de Louis dans la tâche de synchronisation dévoilent une amélioration progressive de sa précision (correspond à la moyenne) et une légère diminution de sa variabilité (correspondant à l'écart type) lors des séances avec la prise en charge des processus temporels. Ces deux variables sont nettement meilleures lors des conditions B par rapport aux conditions A et A' ; ce qui dévoile un effet des activités proposées au niveau de la synchronisation pour cet enfant, mais cet effet ne se maintient pas une fois la prise en charge arrêtée. De plus on peut noter que lors des conditions A et A', les performances en précision ont tendance à se dégrader et la variabilité des réponses augmentent.

B) Continuation

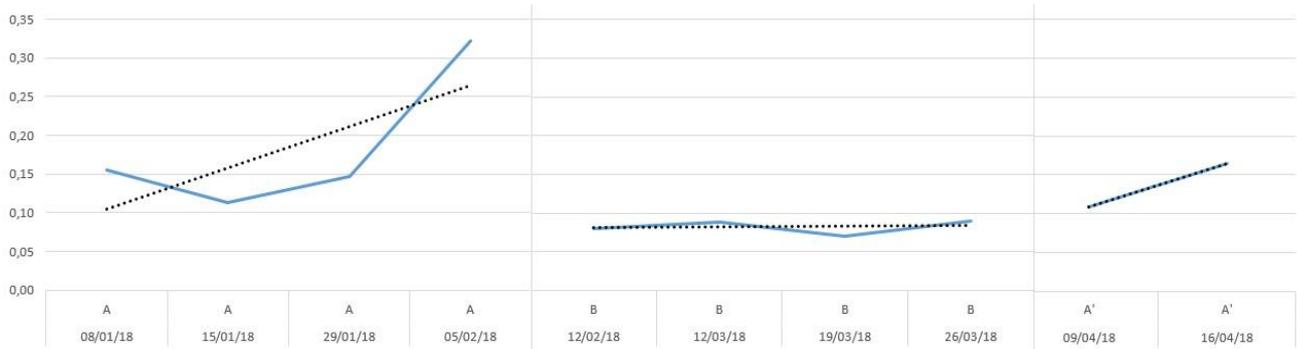


Figure 14. Courbe de la moyenne pour la tâche de continuation de Louis

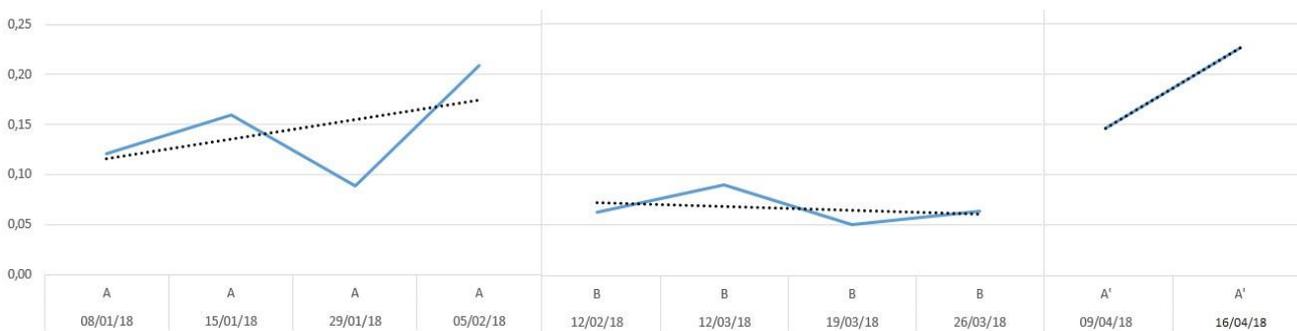


Figure 15. Courbe de l'écart type pour la tâche de continuation de Louis

	A	B	A'
Moyenne	0,18	0,08	0,14
Écart type	0,14	0,07	0,19
Médiane	0,17	0,07	0,07
Étendue	0,01 - 0,56	0 - 0,33	0 - 0,94
Stabilité	20%	35%	21%
Degré de variation de la médiane	-0,15	-0,01	0,01
Degré de variation absolue	-0,13	-0,01	-0,06

Tableau 2. Analyse des mesures de la tâche de Continuation de Louis

Les mesures de continuation de Louis présentent en condition A et A' une tendance à la dégradation au niveau de la précision et une augmentation de la variabilité. La condition B a permis une relative stabilité de la précision et de la variabilité. Louis a été plus précis et moins variable sur cette condition. Tout comme pour la synchronisation, les effets de la prise en charge ne se sont pas maintenus après l'arrêt de celle-ci.

2-Victor

A) Synchronisation

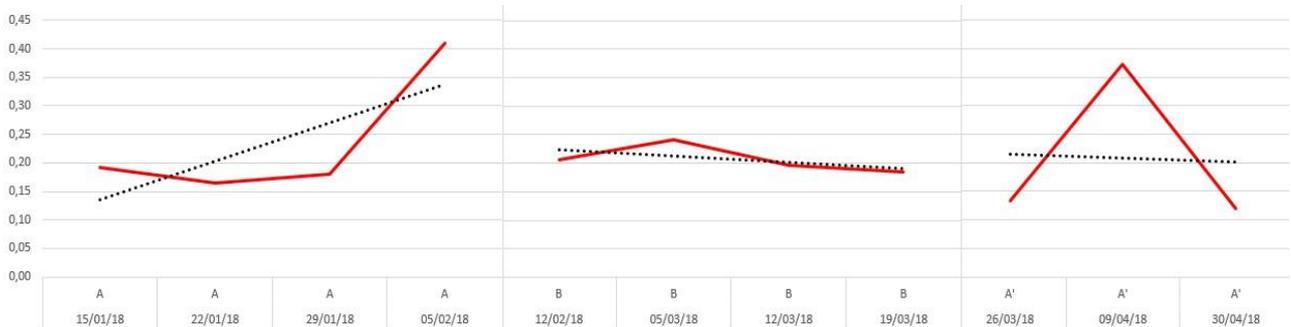


Figure 16. Courbe de la moyenne pour la tâche de synchronisation de Victor



Figure 17. Courbe de l'écart type pour la tâche de synchronisation de Victor

	A	B	A'
Moyenne	0,24	0,21	0,21
Écart type	0,16	0,12	0,15
Médiane	0,20	0,21	0,18
Étendue	0,08 - 0,61	0,02 - 0,43	0,03 - 0,73
Stabilité	34%	38%	37%
Degré de variation de la médiane	-0,15	-0,19	-0,15
Degré de variation absolue	-0,53	-0,41	-0,70

Tableau 3. Analyse des mesures de la tâche de synchronisation de Victor

Les mesures de synchronisation de Victor au niveau de la précision montrent une légère amélioration de la précision des conditions B et A' par rapport à la condition A. Au niveau de la variabilité, la condition B dévoile une variabilité moindre par rapport aux conditions A et A'. Il semblerait que

Victor soit devenu légèrement plus précis à l'aide de la thérapie et que ces effets se soient maintenus lors des séances suivantes tandis que sa légère diminution de variabilité n'a duré que durant les séances de prise en charge des processus temporels.

B) Continuation

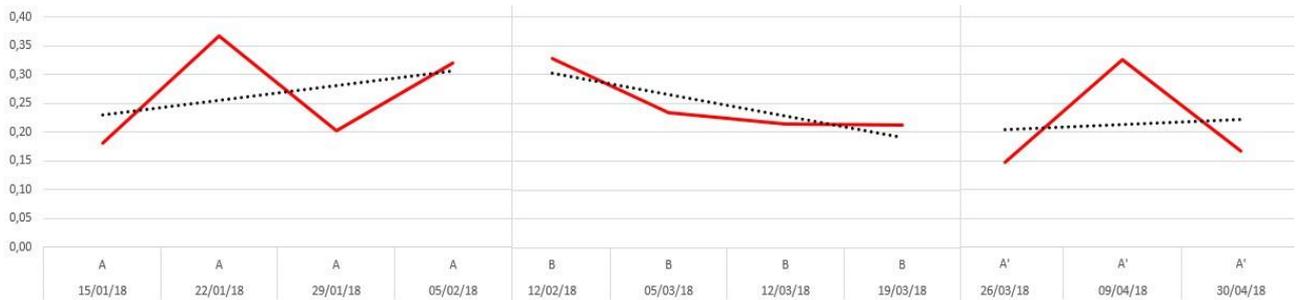


Figure 18. Courbe de la moyenne pour la tâche de continuation de Victor



Figure 19. Courbe de l'écart type pour la tâche de continuation de Victor

	A	B	A'
Moyenne	0,27	0,25	0,21
Écart type	0,14	0,13	0,15
Médiane	0,28	0,25	0,18
Étendue	0,04 - 0,72	0,01 - 0,62	0,02 - 0,63
Stabilité	42%	40%	32%
Degré de variation relatif	-0,19	-0,19	-0,15
Degré de variation absolue	-0,68	-0,61	-0,61

Tableau 4. Analyse des mesures de la tâche de Continuation de Victor

Les mesures de continuation de Victor dévoilent une légère amélioration de la précision ainsi qu'une légère diminution de la variabilité entre les conditions A et B. Nous pouvons remarquer pour la condition B que la précision s'améliore progressivement et que la variabilité diminue. En condition A' ses résultats ont tendance à se détériorer avec le temps.

V-Discussion

Un des éléments qui a été primordial durant la prise en charge a été la motivation des enfants. En effet, pour des patients TDA/H, se focaliser sur le passage du temps et son exploration est très difficile car cela demande de se concentrer sur des perceptions internes ou des perceptions externes extrêmement répétitives.

Durant la prise en charge, mes deux patients ont souvent eu des moments de flottement ou leur attention n'était plus sur les activités en cours mais dirigée vers des autostimulations (agitation) ou vers d'autres stimuli externes (regard par la fenêtre, regarder les jeux sur les étagères etc..). J'ai essayé de trouver des activités permettant la rééducation tout en gardant un intérêt ludique pour eux.

Une des difficultés rencontrées dans tout le travail autour des processus de timing perceptif externe fut la maîtrise du vocabulaire et des références temporelles. Les enfants ne maîtrisant pas le vocabulaire pour expliciter le temps ont demandé un travail en amont pour leur permettre d'avoir les outils pour s'exprimer. De plus, ces outils n'ont aucune valeur si des référentiels mémoriels propres à l'individu ne sont pas en place pour comparer les nouveaux stimuli avec des référentiels stables.

Le début de la prise en charge au niveau du timing perceptif était souvent associé avec des estimations aberrantes de la part des patients car ils n'avaient pas de références temporelles mais le travail effectué avec eux leur a permis de les acquérir, ce qui a permis une amélioration visible de leur estimation, production et reproduction temporelle.

Une évaluation des signes cliniques du TDA/H a été remplie par les parents à partir du questionnaire « SNAP IV », avant et après la prise en charge. Malheureusement aucun changement n'est apparu entre la grille pré-test et la grille post-test. L'hypothèse selon laquelle une rééducation des processus temporels permettra une diminution des signes cliniques des TDA/H semble ici ne pas être validée.

L'analyse des résultats nous a permis d'observer une amélioration nette de la précision associée à une diminution de la variabilité pour Louis. Les résultats sont beaucoup moins significatifs pour Victor même si une tendance similaire peut se dégager. Dans un protocole à cas unique A-B-A, le changement d'une détérioration dans la condition A à une amélioration dans la condition B, permet d'inférer un effet de la prise en charge sur la variable testée. Ainsi, ces résultats vont dans le sens de l'hypothèse de base que nous avons formulée. Il semble possible pour le psychomotricien de mettre en place une rééducation des processus temporels tel que le timing moteur chez les TDA/H mais les résultats engageants de Louis sont à nuancer par ceux de Victor.

Il serait nécessaire de mettre en place une étude de plus grande envergure pour déterminer qu'elle est l'efficacité véritable de ce type de prise en charge, et si la comorbidité avec un TDC a un impact réel sur la prise en charge.

Il est possible que le TDC chez Victor a participé à diminuer l'efficacité de la prise en charge qui a eu un effet moindre par rapport à Louis. En effet les patients souffrants de TDC présentent des capacités motrices déficitaires par rapport à la norme (autant au niveau de la précision, de la vitesse et du timing) or la ligne de base évaluée ici le timing moteur des sujets.

Nous avons focalisé cette étude sur les capacités de timing moteur explicites. Il serait intéressant d'explorer l'efficacité de ce type de prise en charge sur les autres processus temporels ; de se demander si la synchronisation à un rythme externe permet d'ajuster l'horloge interne défaillante des TDA/H.

La thérapie proposée à ces enfants était constituée de différentes activités, il serait pertinent d'évaluer l'efficacité individuelle de ces activités pour déterminer lesquelles ont eu un véritable effet sur les processus temporels.

Une évaluation des fonctions cognitives fonctionnellement reliées aux processus temporels, telles que l'attention et la mémoire de travail, après la prise en charge aurait été intéressante, mais pour des raisons de manque de temps, elle n'a pas pu être effectuée. Nous aurions pu attendre une amélioration de ce type de fonction cognitive due à un effet indirect de la rééducation des processus temporels.

La prise de conscience temporelle qui s'est opérée chez ces deux enfants durant les temps de séance de psychomotricité n'a pas été évaluée dans des cadres plus écologiques relatifs aux quotidiens des enfants (école, maison etc...). Nous aurions pu essayer d'évaluer si l'amélioration de la conscience temporelle avait permis de diminuer l'aversion du délai grâce à l'anticipation de ce à quoi correspondent les temps d'attentes indiqués par l'adulte.

Conclusion

Les processus temporels sont des capacités primordiales pour aborder la temporalité au quotidien. Leur déficit peut avoir des conséquences majeures sur l'adaptabilité d'un individu. Les études semblent indiquer qu'une piste probable de l'étiologie des signes cliniques retrouvés chez le TDA/H sont originaires en partie d'un dysfonctionnement de ces processus présents dans cette pathologie.

Il apparaît alors normal que le psychomotricien en tant que spécialiste du TDA/H prennent en compte ses difficultés dans l'évaluation et la prise en charge de ce type de patient.

Aujourd'hui cet intérêt des psychomotriciens envers les processus temporels est croissant, il convient de s'appuyer sur les données théoriques de la littérature scientifique pour mettre en place les futurs types d'évaluation et de prise en charge prenant en compte des modèles théoriques adaptée. Une des hypothèses admises par la communauté scientifique serait que les patients TDA/H ont un dysfonctionnement de l'horloge interne, qui serait plus rapide que la moyenne, ce qui expliquerait pourquoi le temps subjectif leur semble plus long.

Si le modèle de l'horloge interne est le plus robuste, et, est celui expliquant le mieux les interactions neuronales faisant émerger la perception temporelle, d'autres modèles dynamiques viennent le remettre totalement en cause en appuyant les processus temporels sur des mécanismes qui appréhendent le temps au travers des changements perceptifs ressentis à travers l'ensemble des canaux sensoriels ainsi que de leur interaction sensori-motrice avec leur milieu.

Nous avons essayé à travers la partie pratique de démontrer qu'une rééducation des processus temporels a un effet sur la prise de conscience temporelle des enfants et particulièrement sur le timing moteur explicite au niveau des tâches de synchronisation et de continuation. Les deux enfants semblent s'être améliorés au niveau de la précision de leur timing moteur tout en diminuant leur variabilité de réponse (sachant que le manque de précision et la grande variabilité sont les caractéristiques retrouvées chez les TDA/H dans ce type de tâche). Il convient de noter que l'enfant atteint d'une comorbidité TDA/H et TDC a présenté un effet bien moindre de la thérapie.

Les futures études vont devoir déterminer si la rééducation des processus temporels a un effet réel sur la symptomatologie du TDA/H et sur les compétences cognitives atteintes dans cette pathologie.

Bibliographie

- Albaret, J. M. (2001). Les troubles psychomoteurs chez l'enfant. *Encyclopédie médico-chirurgicale*, 13, 16-95.
- Allman, M. J., & Meck, W. H. (2011). Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain*, 135(3), 656-677.
- Banaschewski, T., Ruppert, S., Tannock, R., Albrecht, B., Becker, A., Uebel, H., ... & Rothenberger, A. (2006). Colour perception in ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(6), 568-572.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65.
- Barkley R.A., Edwards G., Laneri M., Fletcher K., Metevia L. (2001). Executive Functioning, Temporal Discounting, and Sense of Time in Adolescents With Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) and Oppositional Defiant Disorder (ODD). *Journal of Abnormal Child Psychology*, 29(6): 541-556.
- Bégel, V., Di Loreto, I., Seilles, A., & Dalla Bella, S. (2017). Music games: potential application and considerations for rhythmic training. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 273.
- Bonnichon.C (2012). Entraînement aux processus temporels et lien avec l'attention chez un adolescent présentant un Trouble du Déficit de l'Attention/ Hyperactivité (Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricité). Université de Toulouse, France.
- Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1831-1840.
- Bourdin.S & Perez.E (2010). Programme d'entraînement aux processus temporels chez des enfants présentant un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) (Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricité). Université de Toulouse, France.

Cadesky, E. B., Mota, V. L., & Schachar, R. J. (2000). Beyond words: how do children with ADHD and/or conduct problems process nonverbal information about affect?. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 39(9), 1160-1167.

Cappella, B., Gentile, J. R., & Juliano, D. B. (1977). Time estimation by hyperactive and normal children. *Perceptual and Motor Skills*, 44(3), 787-790.

Chan, R. C., McAlonan, G. M., Yang, B., Lin, L., Shum, D., & Manschreck, T. C. (2010). Prevalence of neurological soft signs and their neuropsychological correlates in typically developing Chinese children and Chinese children with ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 35(6), 698-711.

Church, R. M., & Broadbent, H. (1990). Alternative representations of time, number and rate. *Cognition*, 37, 55-81.

Clément, A., & Droit-Volet, S. (2006). Counting in a time discrimination task in children and adults. *Behavioural Processes*, 71(2-3), 164-171.

Coull, J. T., & Nobre, A. C. (2008). Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current opinion in neurobiology*, 18(2), 137-144.

Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 3.

De Zeeuw, P., Weusten, J., van Dijk, S., van Belle, J., & Durston, S. (2012). Deficits in cognitive control, timing and reward sensitivity appear to be dissociable in ADHD. *PloS one*, 7(12), e51416.

Droit-Volet S., Fanget M., Dambrun M. Mindfulness meditation and relaxation training increases time sensitivity. *Conscious. Cogn.*, 2015; 31:86-97.

Durosoir.E (2016). Etude de faisabilité d'une évaluation des fonctions temporelles chez deux enfants TDA/H selon le modèle de Coull & Nobre (2008) (Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricité). Université de Toulouse, France.

Fraisse, P. (1967). *Psychologie du temps*. Presses universitaires de France.

Fraisse, P. (1974). *Psychologie du rythme* (Vol. 58). Presses universitaires de France.

Fraisse, P. (1978). Time and rhythm perception. In *Perceptual coding* (pp. 203-254).

Fuster, J. M. (1989). *The prefrontal cortex*. New York: Raven Press.

Fuster, J. M. (1995). Memory and planning: Two temporal perspectives of frontal lobe function. In H. H. Jasper, S. Riggio, & P. S. Goldman-Rakic (Eds.), *Epilepsy and the functional anatomy of the frontal lobe* (pp. 9-18). New York: Raven Press

Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New-York Academy of Sciences*, 423, 52–77.

Goldberg, E., & Podell, K. (1995). Lateralization in the frontal lobes. In H. H. Jasper, S. Riggio, & P. S. Goldman-Rakic (Eds.), *Epilepsy and the functional anatomy of the frontal lobe* (pp. 85-96). New York: Raven Press.

Goldman-Rakic, P. S. (1995). Anatomical and functional circuits in prefrontal cortex of nonhuman primates: Relevance to epilepsy. In H. H. Jasper, S. Riggio, & P. S. Goldman-Rakic (Eds.), *Epilepsy and the functional anatomy of the frontal lobe* (pp. 51-62). New York: Raven Press

Harvey, W. J., Reid, G., Bloom, G. A., Staples, K., Grizenko, N., Mbekou, V., ... & Joobar, R. (2009). Physical activity experiences of boys with and without ADHD. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 26(2), 131-150.

Janeslätt, G., Kottorp, A., & Granlund, M. (2014). Evaluating intervention using time aids in children with disabilities. *Scandinavian journal of occupational therapy*, 21(3), 181-190.

Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological review*,

96(3), 459.

Keele, S. W., Nicoletti, R., Ivry, R. I., & Pokorny, R. A. (1989). Mechanisms of perceptual timing: Beat-based or interval-based judgements?. *Psychological Research*, 50(4), 251-256.

Knight, R. T., Grabowecky, M. F., & Scabini, D. (1995). Role of human prefrontal cortex in attention control. *Advances in neurology*, 66, 21-34.

Koch, G., Oliveri, M., & Caltagirone, C. (2009). Neural networks engaged in milliseconds and seconds time processing: evidence from transcranial magnetic stimulation and patients with cortical or subcortical dysfunction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1525), 1907-1918.

Lee, H. Y., & Yang, E. L. (2018). Exploring the Effects of Working Memory on Time Perception in Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Psychological reports*, 0033294118755674.

Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2006). Remembering the time: a continuous clock. *Trends in cognitive sciences*, 10(9), 401-406.

Lou, H. C., Henriksen, L., Bruhn, P., Børner, H., & Nielsen, J. B. (1989). Striatal dysfunction in attention deficit and hyperkinetic disorder. *Archives of Neurology*, 46(1), 48-52.

Mao, H. Y., Kuo, L. C., Yang, A. L., & Su, C. T. (2014). Balance in children with attention deficit hyperactivity disorder-combined type. *Research in developmental disabilities*, 35(6), 1252-1258

Marx, I., Weirich, S., Berger, C., Herpertz, S. C., Cohrs, S., Wandschneider, R., ... & Häbeler, F. (2017). Living in the Fast Lane: Evidence for a Global Perceptual Timing Deficit in Childhood ADHD Caused by Distinct but Partially Overlapping Task-Dependent Cognitive Mechanisms. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 122.

Matell, M. S., & Meck, W. H. (2000). Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior. *Bioessays*, 22, 94-103.

- Matell, M.S., & Meck, W.H. (2004). Cortico-triatal circuits and interval timing: Coincidence detection and oscillatory processes. *Cognitive Brain Research*, 21, 139-170.
- Matha, P. (2015). Pression temporelle et estimation du temps (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Miall, R. (1989). The storage of time intervals using oscillatory neurons. *Neural Computation*, 1,359-371.
- Miller, M., Hanford, R. B., Fassbender, C., Duke, M., & Schweitzer, J. B. (2011). Affect recognition in adults with ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 15(6), 452-460.
- Milner, B. (1995). Aspects of human frontal lobe function. In H. H. Jasper, S. Riggio, & P. S. Goldman-Rakic (Eds.), *Epilepsy and the functional anatomy of the frontal lobe* (pp. 67-81). New York: Raven Press.
- Mullane, J. C., & Klein, R. M. (2008). Literature review: Visual search by children with and without ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 12(1), 44-53.
- Namgung, Y., Son, D. I., & Kim, K. M. (2015). Effect of Interactive Metronome® Training on Timing, Attention and Motor Function of Children With ADHD: Case Report. *Journal of Korean Society of Sensory Integration Therapists*, 13(2), 63-73.
- Noreika, V., Falter, C. M., & Rubia, K. (2013). Timing deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): evidence from neurocognitive and neuroimaging studies. *Neuropsychologia*, 51(2), 235-266.
- Oliveri, M., Koch, G., Salerno, S., Toerriero, S., Lo Gerfo, E., Caltagirone, C., 2009. Representation of time intervals in the right posterior parietal cortex: implications for a mental time line. *Neuroimage* 45, 1173–1179.
- Park, Y. Y., & Choi, Y. J. (2017). Effects of interactive metronome training on timing, attention, working memory, and processing speed in children with ADHD: a case study of two children. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(12), 2165-2167.

Parush, S., Sohmer, H., Steinberg, A., & Kaitz, M. (1997). Somatosensory functioning in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 39(7), 464-468.

Penton-Voak, I. S., Edwards, H., Percival, A., & Wearden, J. H. (1996). Speeding up an internal clock in humans? Effects of click trains on subjective duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(3), 307.

Pfeuty, M., Ragot, R., Pouthas, V., 2003. When time is up: CNV time course differentiates the roles of the hemispheres in the discrimination of short tone durations. *Exp. Brain Res.* 151, 372–379

Rubia, K., Noorloos, J., Smith, A., Gunning, B., & Sergeant, J. (2003). Motor timing deficits in community and clinical boys with hyperactive behavior: the effect of methylphenidate on motor timing. *Journal of abnormal child psychology*, 31(3), 301-313.

Rubia, K. (2006). The neural correlates of timing functions. In *Timing the future: The case for a timebased prospective memory* (pp. 213-238).

Saitour, A., & Albaret, J. M. (2017). Dimension proprioceptive et tactile de la conscience corporelle et action volontaire chez un enfant avec TSA: protocole à cas unique en rééducation psychomotrice. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, 65(1), 42-53.

Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., & Stemmer, P. J. (2001). Effect of Interactive Metronome® training on children with ADHD. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.

Sieg, K. G., Gaffney, G. R., Preston, D. F., & Hellings, J. A. (1995). SPECT brain imaging abnormalities in attention deficit hyperactivity disorder. *Clinical nuclear medicine*, 20(1), 55-60.

Slaats-Willemse, D., de Sonneville, L., Swaab-Barneveld, H., & Buitelaar, J. (2005). Motor flexibility problems as a marker for genetic susceptibility to attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological*

Psychiatry, 58(3), 233-238.

Smith, A., Taylor, E., Warner Rogers, J., Newman, S., & Rubia, K. (2002). Evidence for a pure time perception deficit in children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43(4), 529-542.

Sonuga-Barke, E. J. S., Taylor, E., Sembi, S., & Smith, J. (1992). Hyperactivity and delay aversion—I. The effect of delay on choice. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33(2), 387-398.

Sonuga-Barke, E. J. (2003). The dual pathway model of AD/HD: an elaboration of neurodevelopmental characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(7), 593-604.

Sonuga-Barke, E., Bitsakou, P., & Thompson, M. (2010). Beyond the dual pathway model: evidence for the dissociation of timing, inhibitory, and delay-related impairments in attentiondeficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(4), 345-355.

Soppelsa, R., Marquet-Doléac, J., & Albaret, J. M. (2006). Gestion du temps et contexte d'apprentissage chez l'enfant agité et distrait. *Entretiens de Psychomotricité*, 29-36.

Staddon, J. E. R., & Higa, J. J. (1999). TIME AND MEMORY: TOWARDS A PACEMAKER-FREE THEORY OF INTERVAL TIMING. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 71(2), 215-251.

Stuss, D.T., & Benson, D.F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.

Taatgen, N. A., Van Rijn, H., & Anderson, J. (2007). An integrated theory of prospective time interval estimation: the role of cognition, attention, and learning. *Psychological Review*, 114(3), 577.

Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *Journal of Neuroscience*, 31(10), 3805-3812.

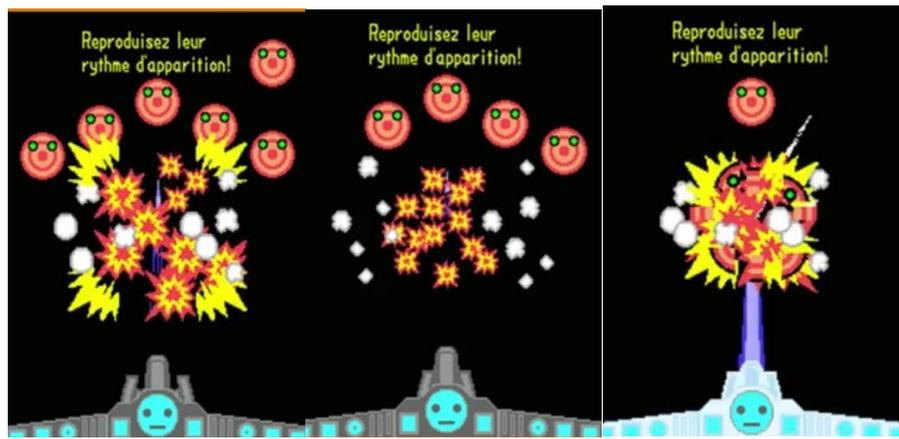
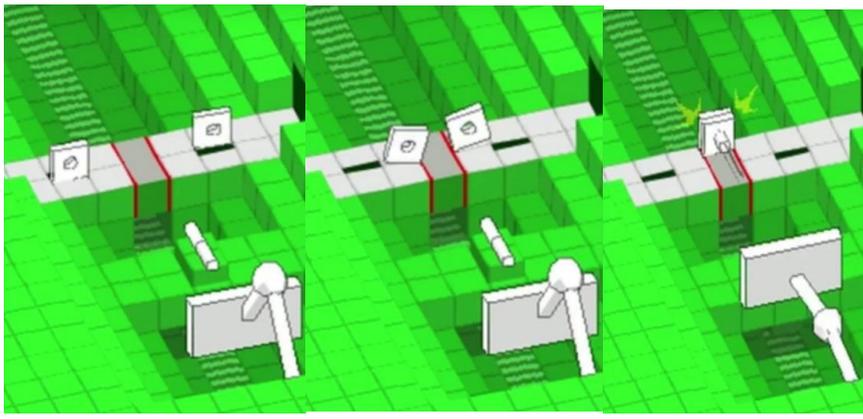
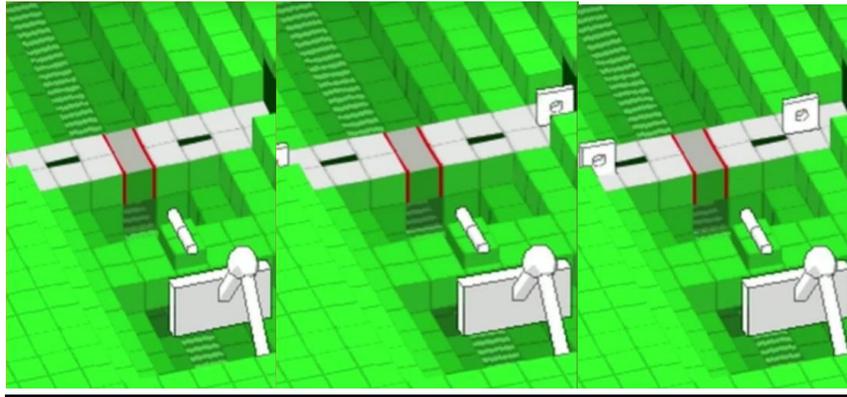
Teki, S., Grube, M., & Griffiths, T. D. (2012). A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms. *Frontiers in integrative neuroscience*, 5, 90.

- Toplak M.E., Tannock R. (2005). Time Perception: Modality and Duration Effects in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Journal of Abnormal Child Psychology*, 33(5):639-654.
- Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: findings to date and new methods. *Journal of neuroscience methods*, 151(1), 15-29.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the " internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied*, 77(13), 1.
- Treisman, M., & Brogan, D. (1992). Time perception and the internal clock: Effects of visual flicker on the temporal oscillator. *European Journal of Cognitive Psychology*, 4, 41-70.
- Underwood, G., & Swain, R. A. (1973). Selectivity of attention and the perception of duration. *Perception*, 2(1), 101-105.
- Wackermann, J., & Ehm, W. (2006). The dual klepsydra model of internal time representation and time reproduction. *Journal of Theoretical Biology*, 239, 482–493.
- Wearden, J. H., Todd, N. P. M., & Jones, L. A. (2006). When do auditory/visual differences in duration judgements occur?. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(10), 1709-1724.
- Wearden, J. H., & Farrar, R. (2007). Effects of feedback and calibration on the verbal estimation of the duration of tones. *Acta Psychologica*, 126(1), 1–17.
- Wennberg, B., Janeslätt, G., Kjellberg, A., & Gustafsson, P. A. (2018). Effectiveness of time-related interventions in children with ADHD aged 9–15 years: a randomized controlled study. *European child & adolescent psychiatry*, 27(3), 329-342.
- Wiener, M., Turkeltaub, P., & Coslett, H. B. (2010a). The image of time: a voxel-wise metaanalysis. *Neuroimage*, 49(2), 1728-1740.
- Yanga B., Chana R., Zouc X., Jingd J., Maie J. & Lif J. (2007). Time perception deficit in children with ADHD. *Brain research*, n°1170, 90-96.

Yochman, A., Parush, S., & Ornoy, A. (2004). Responses of preschool children with and without ADHD to sensory events in daily life. *American Journal of Occupational Therapy*, 58(3), 294-302.

Annexes

Annexe 1: *Rhythm paradise*



Annexe 2 : Frises Chronologiques

[...]

Résumé

Les données de la littérature scientifique ont démontré l'existence de processus temporels défaillants dans le cadre des enfants atteints d'un Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H). Désormais, les modèles théoriques de cette pathologie prennent en compte ces difficultés qui peuvent être une possible origine des signes cliniques retrouvés chez ces patients. Il serait intéressant pour les psychomotriciens, en tant que spécialistes du TDA/H, de prendre en charge ces difficultés temporelles dans le cadre d'une prise en charge globale du patient.

Ce mémoire présente l'établissement d'un protocole à cas unique avec deux enfants TDA/H dans le but de démontrer l'existence d'un effet de la rééducation des processus temporels notamment sur le timing moteur explicite. La rééducation s'est axée autour de la question du rythme, de la synchronisation et de la continuation de tempo externe, en plus de l'utilisation du chronomètre en tant qu'outil rééducatif. Les résultats semblent indiquer l'existence d'un effet sur le timing moteur dû à ce type de prise en charge. Il est aujourd'hui primordial que les psychomotriciens prennent un intérêt particulier pour la rééducation des processus temporels qui sont nécessaires à l'adaptation de chaque individu.

Mots clés : TDA/H, Timing moteur, Protocole à cas unique, Rythme, Processus temporelle.

Summary

Data given in scientific literature demonstrated the existence of failing temporal process regarding children suffering from Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). Nowadays, the theoretical models for this pathology take into account such failings, which are one of the possible origins for clinical observations found in these cases. It would be most interesting for occupational therapists, who are specialists in ADHD to take care of these temporal difficulties within the framework of a patient's general care program.

This term paper presents the set up of a single case experimental design study with two children with ADHD in order to demonstrate the effect of the reeducation of temporal process, particularly on explicit motor timing. The reeducation program revolves around rhythm, synchronisation and continuation of external tempo, on top of using a chronometer as a reeducational tool. The results seem to show actual effect on motor timing due to this type of program. It is of utmost importance that today's Occupational therapists take a particular interest in temporal process reeducation which are necessary to help each individual adapt properly.

Key words: ADHD, Motor timing, Single case experimental design study, Rhythm, Temporal process.