

# Processus temporels et fonctions exécutives :

Une relation hypothétique appliquée à la prise en  
charge d'un enfant TDA/H

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Psychomotricien  
ou Psychomotricienne

**SIGAUD Marie-Capucine**

Jun 2021

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>Partie Théorique</b> .....	<b>5</b>
<b>Partie I : Temporalité dans le TDA/H</b> :.....	<b>5</b>
<b>I) Rappels sur le TDA/H</b> : .....	5
1) Diagnostic :.....	5
2) Répercussions neuropsychologiques : .....	6
<b>II) Généralités sur les processus temporels</b> :.....	7
<b>A) Définitions et modèles des processus temporels</b> : .....	7
1) Timing Implicite et Timing explicite : .....	8
2) Timing relatif aux durées et Timing relatif au rythme : .....	8
3) Temps prospectif et Temps rétrospectif : .....	9
<b>B) Bases neuro-anatomiques des processus temporels</b> :.....	10
1) Comment le temps est-il représenté au niveau cérébral ? .....	10
2) Quelles zones cérébrales sont impliquées dans le traitement de l'information temporelle ? .....	10
Cervelet :.....	11
Cortex préfrontal : .....	11
Ganglions de la base : .....	12

3) Quels sont les neuromédiateurs impliqués dans le traitement de l'information temporelle ?.....	12
<b>C) Ontogénèse des processus temporels :</b> .....	12
<b>III) Processus temporels dans TDA/H :</b> .....	14
<b>A) Difficultés temporelles dans le TDA/H :</b> .....	14
<b>B) Place du timing dans les modèles théoriques du TDA/H :</b> .....	15
1) Modèle d'aversion du délai de Sonuga-Barke (1992) :.....	15
2) Modèle de l'inhibition comportementale par Barkley (1997) :.....	16
3) Modèle à deux voies de Sonuga-Barke (2003) :.....	17
4) Modèle à trois voies de Sonuga-Barke (2010) :.....	18
<b>Partie 2 : Fonctions exécutives dans le TDAH :</b> .....	<b>19</b>
<b>I) Généralités sur les fonctions exécutives :</b> .....	19
<b>A) Définition et modèles des FE :</b> .....	19
1) Modèle des fonctions exécutives de Diamond (2013) :.....	20
2) Fonctions exécutives de base :.....	21
Inhibition/ Contrôle inhibiteur :.....	21
Mémoire de travail :.....	22
Flexibilité cognitive :.....	24
<b>B) Bases neuro-anatomiques des fonctions exécutives :</b> .....	24
1) Quelles zones cérébrales sont impliquées dans le fonctionnement exécutif ?.....	24
Cortex frontal :.....	25
Striatum :.....	25
2) Quels sont les neuromédiateurs impliqués dans le fonctionnement exécutif ?.....	26
<b>C) Ontogénèse des fonctions exécutives :</b> .....	26
<b>II) Fonctions exécutives dans le dans le TDA/H :</b> .....	26
<b>A) Déficit des fonctions exécutives dans le TDA/H :</b> .....	26
<b>B) Place des fonctions exécutives dans les modèles théoriques du TDA/H :</b> .....	27
1) Modèle de l'inhibition comportementale de Barkley (1997) :.....	27
2) Modèle des fonctions exécutives déficitaires de Brown (2006) :.....	27
<b>Partie 3 : Liens entre les processus temporels et les fonctions exécutives.....</b>	<b>28</b>
<b>I) Des éléments en commun :</b> .....	28
<b>II) Des corrélations dans les déficits et les performances :</b> .....	29
<b>III) Des possibilités de prise en charge alliant les processus temporels et les fonctions exécutives ? :</b> .....	31
<b>Conclusion Partie Théorique .....</b>	<b>31</b>
<b>Partie Pratique .....</b>	<b>32</b>
<b>I) Présentation de Noé :</b> .....	<b>32</b>
<b>A) Anamnèse :</b> .....	33
<b>B) Bilans :</b> .....	34
1) Bilan d'évolution orthophonique de la communication, du langage oral et du langage écrit (9 ans 8 mois) :.....	34
2) Bilans psychomoteurs :.....	34
Bilan initial (5 ans 4 mois) :.....	34
Bilan d'évolution (9 ans 2 mois) :.....	35
<b>II) Prise en charge :</b> .....	<b>37</b>
<b>A) Récolte de données paracliniques :</b> .....	38
1) Évaluation des fonctions exécutives :.....	38
Évaluation de l'inhibition :.....	39
Évaluation de la mémoire de travail :.....	39
Évaluation de la flexibilité cognitive :.....	39
2) Évaluation des processus temporels :.....	40
Évaluation des capacités d'estimation temporelle :.....	40
Évaluation des capacités rythmiques :.....	41
<b>B) Présentation du protocole :</b> .....	42
1) Principes de rééducation :.....	43

2) Structuration des séances : .....	43
Date du jour et question associée : .....	44
Questions sur le repérage temporel : .....	44
Activité « Classique » : .....	45
Activité « Temporelle » : .....	45
3) Déroulement des séances pour Noé : .....	46
<b>III) Résultats : .....</b>	<b>48</b>
1) Comparaison Test-Retest sur l'évaluation des processus temporels : .....	48
2) Comparaison Test-Retest sur l'évaluation des fonctions exécutives : .....	51
<b>Discussion.....</b>	<b>53</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>55</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>57</b>
<b>Annexes.....</b>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>Annexe 1</b> : Critères diagnostics du TDA/H selon le DSM-5 (APA, 2013) .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>Annexe 2</b> : Modèle des fonctions exécutives traduit d'après Diamond (2013).....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>Annexe 3</b> : Structures rythmiques issus de l'épreuve du rythme de Stambak .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>Annexe 4</b> : Production de Noé au jeu de Timing prédictif .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>Remerciements.....</b>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>

## Introduction

---

Le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est une pathologie neuro-développementale caractérisée par une triade symptomatique : inattention, hyperactivité et impulsivité. A cette triade symptomatique s'ajoute fréquemment d'autres symptômes comme des difficultés de gestion des processus temporels, ainsi que des déficits dans les fonctions exécutives. Si l'on s'intéresse plus particulièrement à ces deux derniers symptômes, on constate à travers la littérature, qu'ils ne coexistent pas uniquement dans le TDA/H. En effet ils peuvent coexister dans d'autres pathologies comme la maladie de Parkinson (Watanabe et al., 2018) et ou encore dans le syndrome de Gilles de la Tourette (Vicario et al., 2010). Plusieurs études scientifiques au cours de ces dernières années ont permis de mettre en lumière plusieurs corrélations entre les fonctions temporelles et les fonctions exécutives, mais la possibilité de l'existence d'un lien réel entre ces deux familles de fonctions reste encore aujourd'hui au stade d'hypothèse. En effet, les données scientifiques à ce sujet sont encore trop peu nombreuses et très peu d'études ont été spécifiquement dédiée à l'exploration de ce lien.

Ce mémoire a pour objectif d'essayer de mettre en évidence la présence d'un lien entre processus temporels et fonctions exécutives, notamment dans le TDA/H. Dans un premier temps, à travers l'étude de plusieurs données théoriques, et dans un second temps à travers l'étude d'un cas pratique.

Dans la partie théorique, nous commencerons par faire un bref rappel sur la pathologie qu'est le TDA/H, pour ensuite nous intéresser plus précisément aux généralités sur les processus temporels, ainsi que leurs implications dans cette pathologie. De la même manière, nous nous intéresserons aux généralités sur les fonctions exécutives, pour ensuite exposer leurs implications dans le TDA/H. Enfin, nous tenterons de mettre en évidence l'existence de leur interaction en nous appuyant sur des études scientifiques.

Dans la partie pratique nous nous intéresserons à la prise en charge d'un jeune garçon, que nous appellerons ici Noé, âgé de [            ], diagnostiqué TDA/ [            ] Noé présente en plus de ses difficultés d'attention, d'impulsivité et d'hyperactivité, des déficits au niveau des fonctions exécutives, ainsi que des difficultés dans la gestion des processus temporels. L'objectif ici va être de proposer à Noé une prise en charge uniquement basée sur la rééducation de ses processus temporels afin de voir si cela peut avoir un impact positif sur ses capacités en fonctions exécutives.

A travers cette prise en charge, je cherche donc à répondre à la question suivante : **La rééducation des processus temporels chez un enfant porteur de TDA/H permet-elle d'améliorer ses capacités en fonctions exécutives ?** Mon hypothèse est que cette rééducation des processus temporels permettrait à Noé d'être plus performant dans les tâches nécessitant l'implication des fonctions exécutives, sans que ces dernières n'aient été travaillées directement. Ce qui mettrait ainsi en évidence un lien direct entre les processus temporels et les fonctions exécutives.

# Partie Théorique

---

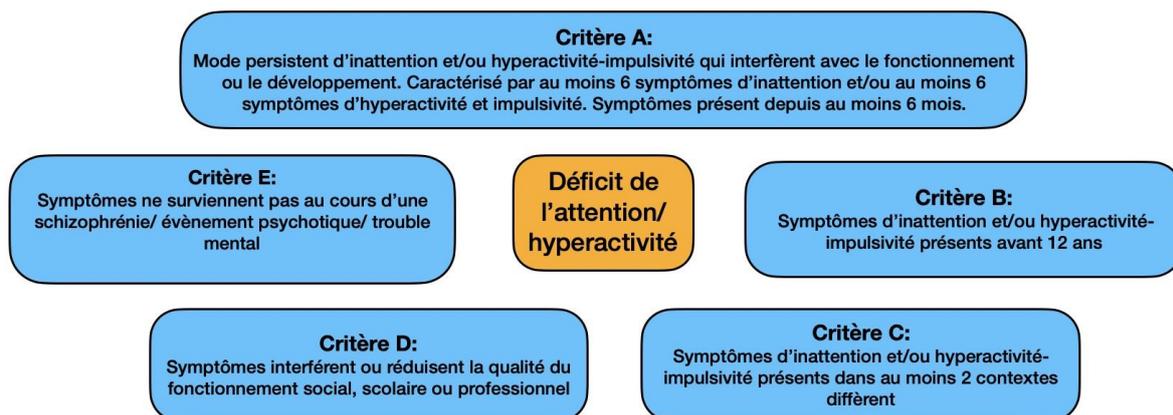
## **Partie I : Temporalité dans le TDA/H :**

### **I) Rappels sur le TDA/H :**

Le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est un trouble neurodéveloppemental ayant une symptomatologie complexe et une étiologie multifactorielle, qui peut être caractérisé par une triade symptomatique : inattention, impulsivité et hyperactivité. Ces trois manifestations peuvent coexister et se répartir différemment d'un individu à l'autre. Les connaissances sur ce trouble ont été développées et affinées au cours des 50 dernières années, à partir de sa première description contemporaine dans le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-II) en tant que réaction hyperkinétique de l'enfance, à son inclusion actuelle dans le DSM-5, en tant que condition neuro-développementale avec des critères spécifiques pour les enfants et les adultes. Un changement reflété par son homologue, la Classification internationale des maladies (CIM-11). Ces deux systèmes de classification nosologique sont globalement cohérents dans leurs descriptions des divers symptômes du TDA/H, moyennant quelques différences en ce qui concerne les sous-types et les critères supplémentaires du TDA/H.

#### 1) Diagnostic :

Le diagnostic clinique du TDA/H nécessite une évaluation détaillée des symptômes actuels et antérieurs de la déficience fonctionnelle ; mais aussi la prise en compte globale de l'histoire familiale, gestationnelle et développementale de l'individu.



*Critères diagnostiques du TDA/H issus du DSM-5 (format détaillé en annexe)*

La caractéristique essentielle du TDA/H est un mode persistant d'inattention et/ou hyperactivité-impulsivité qui interfère avec le fonctionnement ou le développement. D'après des données internationales, il débute pendant l'enfance et est présent dans la plupart des cultures chez environ 5% des enfants (Polanczyk et al. 2007) et 2,5 % des adultes (Simon et al. 2009). Les niveaux de symptômes varient selon les différents domaines de vie impactés et selon l'ampleur des exigences environnementales.

Il existe plusieurs types de TDA/H, catégorisés en fonction de leur expression symptomatologique : on parle de forme combinée lorsque l'individu remplit à la fois le critère d'inattention (A1) et le critère d'hyperactivité/ impulsivité (A2), en revanche on va parler de forme inattentive dominante, si seul le critère d'inattention est rempli, et de forme hyperactive/impulsive dominante, lorsque l'individu ne remplit que les critères d'hyperactivité/impulsivité.

## 2) Répercussions neuropsychologiques :

En 2013, Coghill et al. présentent un modèle dans lequel le TDA/H est caractérisé par des déficits dans 6 domaines neuropsychologiques différents. Ces domaines sont :

- La mémoire de travail,
- L'inhibition,
- La prise de décision,
- Le timing
- La variabilité de réponse

Ce modèle résulte d'une expérience dans laquelle un groupe de jeunes garçons adolescents atteints de TDA/H a été comparé à un groupe de garçons normotypiques du même âge. Les résultats montrent que les garçons porteurs de TDA/H présentent des capacités plus faibles dans ces différents domaines, comparativement à l'autre groupe. Ces résultats sont néanmoins très hétérogènes d'un domaine à l'autre, ce qui sous-entend que les déficits ne sont pas représentés de façon similaire dans les 6 aptitudes testées. En effet, 18 à 36% des sujets TDA/H présentent des difficultés dans chacun des 6 domaines, alors qu'un quart ne présente aucun déficit, seulement des fragilités. De plus, la majorité des individus (65%) présentent des capacités déficitaires dans au moins 3 domaines différents.

Ce modèle reflète donc la complexité des relations qui peuvent exister entre ces différents profils neuropsychologiques, et malgré le fait que le TDA/H soit spécifiquement identifié, il n'en reste pas moins qu'il peut entraîner des situations cliniques très variables d'un individu à l'autre.

## **II) Généralités sur les processus temporels :**

### **A) Définitions et modèles des processus temporels :**

En 2018, Puyjarinet et Coutand (in, Albaret et al, 2018) reprennent la définition du timing en précisant que c'est un terme diversifié, englobant généralement plusieurs dimensions se référant à la capacité à percevoir des événements temporels, et à s'ajuster à eux sur le plan comportemental, de manière implicite ou explicite (Allman et al, 2014 ; Repp et al., 2013 ; Schirmer et al, 2016). Le timing renvoie également à la capacité à prendre en compte les conséquences de nos futurs actes et à anticiper ce qui pourrait découler de nos décisions actuelles (Noreika et al, 2013).

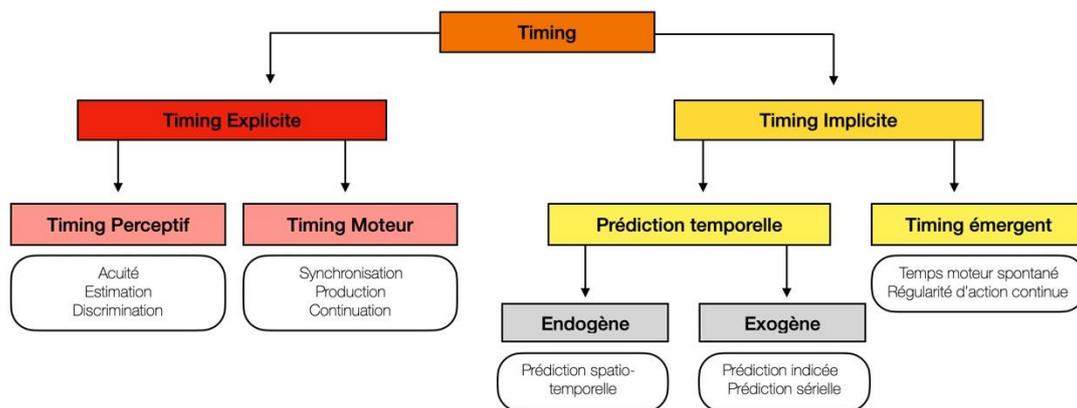
Il s'agit donc de regrouper sous le terme de timing des capacités de traitement perceptif des informations temporelles qu'elle qu'en soit leur nature (visuel, auditif, tactile...) et des possibilités de réponses face à ces événements temporels (capacités d'adaptation à moyen et long terme).

Au fil des recherches, plusieurs catégorisations ont été proposées pour rendre compte des différentes dimensions du timing, et en est ressorti une double dissociation timing implicite/explicite d'une part, et timing relatif aux durées/ au rythme d'autre part.

## 1) Timing Implicite et Timing explicite :

Cette première dichotomie a été mise en évidence en 2008 par Coull et Nobre. Ils ont proposé un modèle de classification du timing basé sur les notions de timing implicite et explicite.

Le timing explicite va faire référence aux tâches ayant pour but une estimation ou une production temporelle ; tandis que le timing implicite va faire références à toutes les tâches ne nécessitant pas de traitement conscient de l'information temporelle.



*Classification du Timing simplifié traduite d'après Coull et Nobre (2008)*

La dimension de Timing explicite se divise en deux types : le timing perceptif, faisant référence tâches de discrimination de durée, d'estimation de temps ou d'acuité temporelle ; et le timing moteur, impliqué dans des tâches de production de temps, de synchronisation et de continuation.

Le Timing implicite se divise lui aussi en deux types : la prédiction temporelle, qui va consister en la prise de repères temporels exogènes (dépendant d'un stimulus extérieur) ou endogène (résultant d'indices mémorisé lors d'expériences antérieures) ; et le timing émergent lié à la régularité temporelle d'une action motrice.

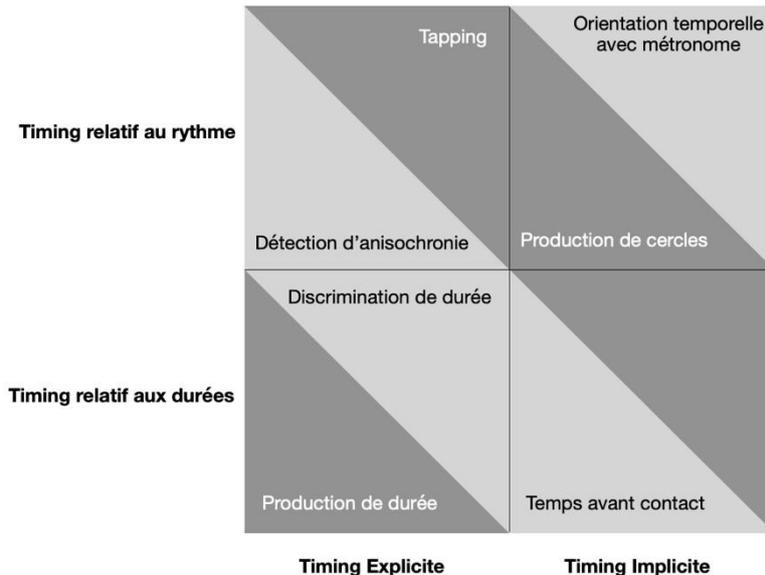
## 2) Timing relatif aux durées et Timing relatif au rythme :

Cette deuxième dichotomie est décrite par Teki en 2011 et permet d'appréhender les capacités de timing sous deux angles différents.

En effet, le timing relatif aux durées se réfère à la capacité à estimer des durées uniques, c'est-à-dire un contexte non périodique ; comme par exemple savoir estimer la durée d'un trajet.

Alors que le timing relatif au rythme se réfère à la capacité à traiter des occurrences temporelles périodiques. Ce mécanisme est à la source des capacités de perception de stimuli temporellement défini et amenés à se répéter dans le temps ; mais aussi aux capacités d'ajustement moteur à ces stimuli ; comme par exemple frapper dans ses mains au rythme d'une chanson.

En 2017, Bégel (in Albaret et al, 2018) propose une représentation schématique des différentes dimensions du timing alliant ces deux dichotomies.



*Représentation schématique des différentes dimensions du timing, et types de tâches expérimentales qui s'y réfèrent (liste non exhaustives) de Bégel (2017) (in Albaret et al, 2018)). Les bandes foncées correspondent aux tâches sensorimotrices et les bandes claires correspondent aux tâches perceptives.*

Cette double dissociation repose notamment sur des travaux ayant montré la mise en jeu de mécanismes cérébraux partiellement distincts, et qui appuient l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas un seul système de traitement temporel mais bien plusieurs.

### 3) Temps prospectif et Temps rétrospectif :

Dans le cadre des recherches sur le jugement temporel, on fait la distinction entre le temps prospectif et le temps rétrospectif. En situation de jugement prospectif, l'individu sera informé à l'avance qu'il va devoir estimer la durée d'un intervalle de temps donné ; alors qu'en situation de jugement rétrospectif, cette information n'est pas connue à l'avance.

La distinction entre ces deux types de jugements temporels s'appuie sur l'idée selon laquelle ils seraient influencés par des processus cognitifs différents. En effet, dans des conditions

prospectives, l'attention va être dirigée en temps réel sur l'information liée au passage du temps, alors que les jugements rétrospectifs s'appuient plus probablement sur des processus fondés sur la mémoire, puisqu'ils nécessitent la récupération de l'information temporelle pertinente qui ne peut se retrouver qu'en mémoire. Il a toutefois été admis que l'attention a tout de même une certaine influence sur les jugements rétrospectifs de durée courte : elle peut faciliter l'encodage et le stockage de l'information en mémoire, et par la suite faciliter la récupération (Block et al, 1997).

L'attention a donc un impact direct (ou indirect) sur ces deux processus de jugement temporel et cela s'explique par l'intermédiaire de plusieurs modèles, notamment ceux incluant une horloge interne (notion abordée dans le paragraphe suivant) (Zakay, 2005).

## **B) Bases neuro-anatomiques des processus temporels :**

### 1) Comment le temps est-il représenté au niveau cérébral ?

A l'heure actuelle, les différents circuits neuronaux chargés du traitement de l'information temporelle ne sont pas encore clairement définis, il existe donc plusieurs modèles explicatifs concernant la perception du temps.

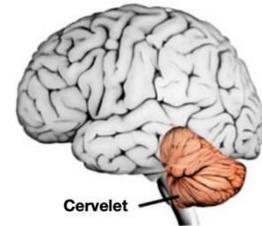
Le modèle d'estimation de la durée le plus souvent cité est le modèle de l'horloge interne, repris par Gibbon et al. en 1984, mettant en jeu des systèmes stimulateur-accumulateur. Dans ce modèle, lorsque l'attention se centre sur un signal sensoriel à temporiser, cela déclenche un système appelé « accumulateur », en charge de compter le nombre d'impulsion émises par un autre système appelé « stimulateur cardiaque interne ». Une fois que l'attention se détourne, le flux d'impulsions est stoppé et le décompte accumulé est traité par la mémoire de travail, pour être comparé avec d'autres décomptes d'impulsions précédemment stockés en mémoire. Néanmoins les différents modèles proposés restent quelque peu subjectifs et limités, car la notion de temps reste dépendante de plusieurs facteurs intrinsèques (état émotionnel) et extrinsèques (informations perçues), il n'y a donc pas de temps homogène mais plutôt des expériences de temps multiples. Ces différentes expériences reflètent la façon dont le cerveau s'adapte à différentes échelles temporelles (Fontes et al., 2016).

### 2) Quelles zones cérébrales sont impliquées dans le traitement de l'information temporelle ?

Grace à l'avènement des techniques d'imageries cérébrales (IRMf), plusieurs études scientifiques ont permis de mettre en évidence l'implication spécifique de plusieurs zones cérébrales dans le traitement des différents processus temporels (timing implicite/explicite, prédictif/prospectif, perceptif/ moteur). Les principales zones cérébrales impliquées dans le traitement de l'information temporelle sont : le cervelet, le cortex préfrontal et les ganglions de la base.

### Cervelet :

La participation du cervelet dans la perception du temps a été mise en évidence, mais sa fonction n'est pas encore bien établie (Harrington et al, 2003). Les chercheurs pensent qu'il existe deux systèmes de chronométrage :

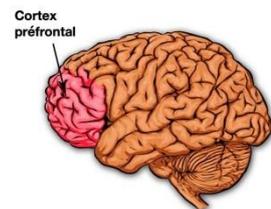


- Le premier, automatique, agit sur les circuits moteurs du cervelet et traitant des périodes de temps de l'ordre de la millisecondes (Koch et al, 2006) ;
- Le deuxième, contrôlé cognitivement, en lien avec les zones cérébrales en charge de la mémoire et de l'attention (zones pariétales et préfrontales) et traitant des périodes de temps de l'ordre quelques secondes, à quelques minutes (Lewis, 2003).

De plus, le cervelet participe au contrôle par rétroaction des activités motrices, qui impliquent généralement des intervalles de temps inférieurs à la seconde (Gooch et al, 2010).

### Cortex préfrontal :

Le rôle du cortex préfrontal en termes d'estimation de durée concerne le stockage et la récupération en mémoire. C'est l'activation prospective de la mémoire qui va permettre de prédire et surveiller la précision de l'estimation temporelle (McFarland et al, 2009).

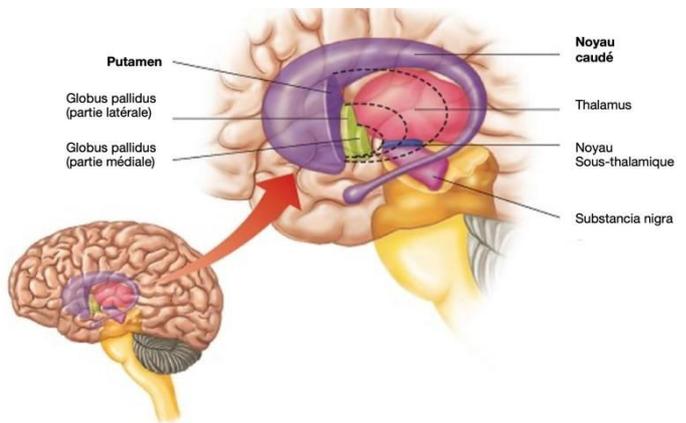


Le cortex préfrontal dorsolatéral est considéré comme la région du cortex frontal la plus impliquée dans la perception du temps supérieur à la seconde et en lien avec la mémoire de travail, les processus attentionnels et les processus décisionnels (Coull et al, 2004).

De plus, les Aires Motrices Supplémentaire (AMS), connues pour leur rôle dans la coordination des mouvements complexes, situés au niveau du cortex préfrontal, seraient impliquées à la fois dans le traitement perceptif de l'information temporelle et dans l'action motrice temporelle (Macar et al., 2006).

### Ganglions de la base :

Dans les ganglions de la base, ce sont spécifiquement le noyau caudé et le putamen (formant ensemble le striatum) qui semblent être les zones impliquées dans les processus temporels. Ces structures sont impliquées dans le traitement des processus temporels de l'ordre de la seconde et de la milliseconde, et sont modulés par la dopamine (Jones et al, 2008).



### 3) Quels sont les neuromédiateurs impliqués dans le traitement de l'information temporelle ?

Le principal neuromédiateur impliqué dans la perception des événements temporels est la dopamine.

En effet, Coull et al, ont observé en 2012 que la précision de la perception du temps d'un individu est altérée par des changements de dopamine sur le putamen, ce qui conduit les sujets à hypo ou hyper estimer le passage du temps.

Ces observations sont attestées par les études menées auprès de patients souffrant de la maladie de Parkinson (diminution de la dopamine de la voie nigrostriatale), montrant que ces personnes présentent principalement des déficits au niveau du timing explicite perceptif et au niveau du timing moteur, avec des difficultés d'estimation de temps verbal et de reproduction de durée (Wiener et al., 2010 ; Grondin et al., 2010 ; Coull et al., 2010).

La dopamine est donc un neurotransmetteur dont l'action est prépondérante dans l'efficacité des processus temporels.

### **C) Ontogénèse des processus temporels :**

On a longtemps cru que les nourrissons ou les jeunes enfants n'étaient pas capables de percevoir ou chronométrer le temps. La faculté de percevoir le temps n'était pas considéré

comme une capacité innée, mais comme un processus acquis, que chaque individu développé durant l'enfance, afin de mieux comprendre l'environnement.

Droit-Volet rappelle en 2016 que l'enfant vit dans un monde dynamique où tout est temporel. Chaque événement, chaque comportement se déroule dans le temps. Lors d'une étude réalisée en 2014 par de Hevia et al., il a été démontré que quelques heures après leur naissance, les nouveau-nés étaient capables de détecter une différence de quelques secondes seulement entre les durées des événements.

Dans les premiers mois de vie, les bébés sont aussi capables d'apprendre la structure temporelle des séquences rythmiques des événements qu'ils rencontrent au quotidiens (comme le comportement maternel ou les paroles), et de réagir lorsque celle-ci est perturbée (Delavenne et al, 2013 ; Brannon et al, 2004).

De plus, les propriétés scalaires caractéristiques du timing chez les adultes ont été retrouvés à tous les âges, même chez les nourrissons âgés de 4 à 14 mois (Andyman et al, 2014). Les propriétés scalaires font références aux caractéristiques variables du jugement temporel (Coull et al. 2003).

Ces études prouvent donc qu'à la naissance, les nouveau-nés possèdent un cerveau intrinsèquement adapté à détecter le flux des événements et à capter leurs caractéristiques temporelles.

Malgré des compétences précoces remarquables, il faut attendre l'âge de 5/6 ans pour que l'enfant soit capable de faire des estimations et des reproductions temporelles précises ; et 8 ans pour obtenir des résultats aussi précis et fiables que ceux obtenus chez les adultes dans certains domaines du timing (Droit-Volet, 2000).

Avant l'âge de 5 ans, l'estimation des durées ne peut se faire qu'à partir de l'appréciation de changements vécus, et de la régulation des actions. Les enfants vivent le temps mais ne l'appréhende pas de manière explicite. Ils acquièrent une expérience implicite des événements temporels au travers des rythmes dans lesquels ils sont immergés (alternance veille/sommeil, interactions sociales, activités, rythme scolaire...), l'estimation des durées n'est pas encore dissociée de l'action (Rattat et al., 2007).

A partir de 5 ans, l'estimation et la reproduction d'intervalles temporels sont plus précises et moins variables, et l'enfant accède à la synchronisation temporelle. Vers 8 ans, une nette

amélioration de la précision et de la stabilité de cette synchronisation est observable (Repp et al., 2013). A partir de 8 ans, les compétences temporelles de l'enfant sont équivalentes à celles de l'adulte.

L'émergence précoce des propriétés fondamentales du timing et leur stabilité à travers les âges démontrent que le cerveau est équipé d'un système de traitement des intervalles dès la naissance. Les processus temporels font donc partie des capacités premières d'un individu.

### **III) Processus temporels dans TDA/H :**

#### **A) Difficultés temporelles dans le TDA/H :**

En 2017, Puyjarinet souligne qu'au-delà de ses manifestations pathologiques caractéristiques (inattention, impulsivité, hyperactivité), le TDA/H peut aussi être caractérisé par des troubles de la sphère temporelle, particulièrement dans deux dimensions : le timing basé sur les durées, et le timing basé sur le rythme.

D'une manière plus spécifique, les principaux domaines du timing altérés dans le TDA/H sont l'estimation des durées, la synchronisation sensorimotrice, et la reproduction de durées (Noreika et al, 2013). Généralement, les sujets porteurs de TDA/H ont tendance à surestimer les durées. Concernant le rythme, le tempo moteur spontané sera souvent caractérisé par une plus grande variabilité intra-individuelle (Rommelse et al, 2007).

En termes de timing moteur, une étude basée sur le suivi de rythme par des sujets présentant un TDA/H, a démontré que ces derniers présentaient des déficits fondamentaux dans les tâches de suivi de rythme (Puyjarinet et al, 2017).

Ces déficits peuvent potentiellement être présents à des degrés divers chez un même patient. A l'intérieur de chaque domaine, il semble même exister des déficits susceptibles d'être hétérogènes (par exemple, déficits rythmiques plus importants en conditions musicales par rapport à une situation présentant un rythme simple de type métronome).

Il est néanmoins nécessaire de rappeler que certains patients TDA/H ne présentent pas de troubles de la sphère temporelle. En revanche pour d'autres, les déficits de timing semblent au centre des dysfonctionnements neuropsychologiques. Sur le plan clinique, il apparaît donc

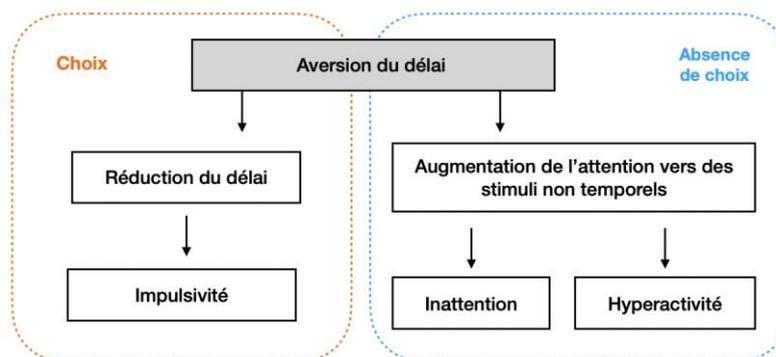
pertinent d'appréhender les différents processus de timing comme des dimensions étroitement liées au profil particulier de chaque individu, dans lequel certaines dimensions temporelles peuvent être altérés d'autres préservées.

## B) Place du timing dans les modèles théoriques du TDA/H :

Afin de déterminer quelle place occupent exactement les processus temporels dans le TDA/H, il est d'abord nécessaire de s'attarder sur les différents modèles théoriques de ce dernier. En effet ces modèles sont caractérisés par de nombreuses évolutions et leur étude va permettre de déterminer à quels endroits spécifiques les processus temporels se trouvent impliqués.

L'objectif de ces différents modèles est de déterminer quels mécanismes neuropsychologiques sont à l'origine du TDA/H, et selon les auteurs, les opinions divergent.

### 1) Modèle d'aversion du délai de Sonuga Barke (1992) :

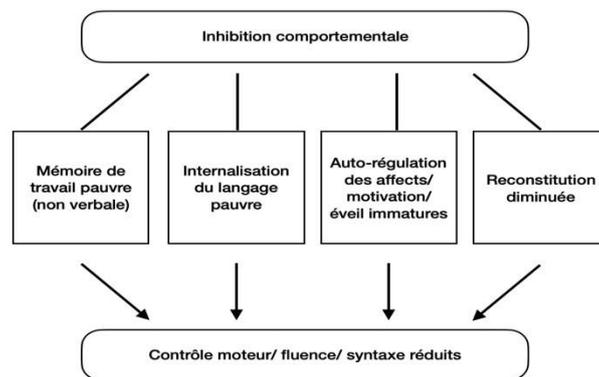


*Modèle de l'aversion du délai dans le TDA/H par Sonuga-Barke (1992)*

En 1992, Sonuga-Barke et al. partent d'une hypothèse motivationnelle et suppose que la triade symptomatique du TDA/H proviendrait d'une perturbation des circuits de la récompense : cette perturbation entrainerait un évitement systématique des situations d'attente. Ainsi, dans le cas où la situation d'attente n'est pas imposée (choix), le sujet TDA/H va chercher à réduire le délai le séparant de la récompense, exprimant cette réduction à travers des comportements d'impulsivité. Et dans la situation où le sujet n'a pas d'autre choix que de se confronter à la situation d'attente (absence de choix), il va essayer de s'en extraire en orientant son attention vers des stimuli non temporels, c'est alors qu'apparaissent les comportements d'inattention et d'hyper activité.

A travers ce premier modèle, on constate que pour Sonuga-Barke, l'aspect temporel est central dans la problématique du TDA/H : les sujets TDA/H présenteraient une hypersensibilité au délai. Cette hypersensibilité peut être reliée à plusieurs comportements typiques du TDA/H comme l'incapacité à être performant sur de longues périodes de temps ou encore la tendance à préférer les petites récompenses immédiates plutôt que les grosses récompenses incluant un délai (Pire, 2012).

## 2) Modèle de l'inhibition comportementale par Barkley (1997) :



*Modèle de l'inhibition comportementale adapté et traduit d'après Barkley (1997)*

Parallèlement au premier modèle de Sonuga-Barke, Barkley propose en 1997, son propre modèle explicatif : pour lui le TDA/H part d'un déficit d'inhibition du comportement qui va avoir un impact sur quatre fonctions exécutives.

Il va d'abord entraîner une pauvreté au niveau de la mémoire de travail (non-verbale), celle-ci va être rapidement saturée d'informations non pertinentes, ce qui va entraîner des difficultés d'accomplissement des tâches dans la durée.

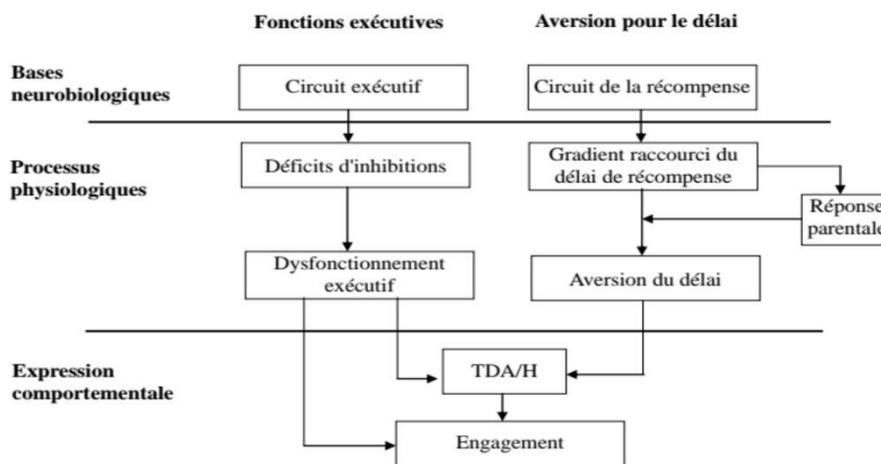
Il va ensuite entraîner une internalisation du langage différée, c'est-à-dire un retard de développement du soliloque. Ce dernier permettant de faciliter le contrôle des processus de réflexion, comme la réalisation de tâches plus ou moins complexes.

Il va ensuite entraîner une immaturité au niveau de l'autorégulation des affects, de la motivation et de l'éveil, ce qui va entraîner une difficulté à se détacher émotionnellement des situations et à les traiter rationnellement.

Et enfin, ce déficit d'inhibition va entraîner une diminution de la reconstitution mentale, ce qui va avoir pour conséquence une diminution des capacités d'adaptation aux changements environnementaux.

Dans ce second modèle théorique, le déficit des processus temporels est placé au sein des dysfonctionnement neuropsychologiques du TDA/H, en effet, il serait la conséquence directe des dysfonctionnements de la mémoire de travail. Seulement, même si plusieurs études scientifiques s’y sont intéressées, l’une des faiblesses de ce modèle réside dans l’absence de corrélation entre la mémoire de travail et les troubles temporels (Noreika et al, 2013). Il semble donc que les déficits temporels ne soient pas toujours la conséquence directe d’une altération de la mémoire de travail dans le TDA/H, comme le postule le modèle de Brakley.

### 3) Modèle à deux voies de Sonuga-Barke (2003) :



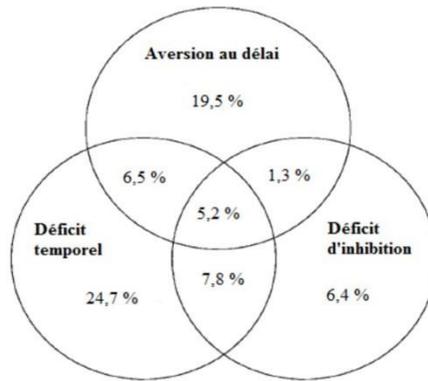
*Modèle à deux voies traduit d'après Sonuga-Barke (2003)*

Face à l’hétérogénéité du tableau clinique du TDA/H, en 2003, Sonuga-Barke propose un nouveau modèle à deux voies, reprenant les deux modèles précédents. La première voie rappelle le déficit d’inhibition comportementale (modèle de Barkley), et la seconde fait référence aux systèmes de récompense et de motivation dont le déficit entraîne une aversion du délai (modèle de Sonuga-Barke).

Au niveau neuro-anatomique, ces deux voies dépendent de deux circuits distincts : le déficit d’inhibition proviendrait d’un défaut de la boucle mésocorticale et l’aversion du délai proviendrait d’un déficit dans la boucle mésolimbique. Ces deux circuits distincts partagent néanmoins le même neuro-modulateur : la dopamine. La distinction entre les deux systèmes proviendrait du fait que chacun d’entre eux est alimenté par deux branches différentes du système dopaminergique.

Ici encore, les processus temporels sont retrouvés à travers la problématique de l'aversion du délai et dans les dysfonctionnements neuropsychologiques du TDA/H.

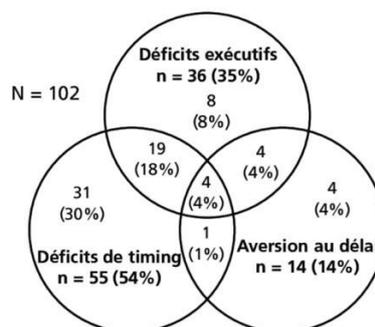
4) Modèle à trois voies de Sonuga-Barke (2010) :



Modèle à trois voies traduit d'après Sonuga-Barke (2010)

En 2010, Sonuga-Barke propose encore un nouveau modèle explicatif, cette fois-ci à trois voies. Dans ce modèle il regroupe les trois principaux déficits du TDA/H : l'aversion du délai, le déficit d'inhibition et le déficit temporel. Ce modèle met en évidence l'existence de trois profils neuropsychologiques partiellement indépendants. En effet, un sujet TDA/H pourrait présenter un seul de ces profils, sans être impacté par aucun autre ou présenter des formes mixtes comme par exemple présenter un déficit temporel et un déficit d'inhibition, sans pour autant présenter une aversion pour le délai.

En 2013, Sjöwall appuie la conception actuelle soutenant que le TDA/H est un trouble hétérogène lié à de multiples déficits neuropsychologiques. Grâce à une étude plus étendue, il apporte un prolongement à l'étude de Sonuga-Barke.



Conception actuelle du TDA/H traduite d'après Sjöwall et al. (2013)

Les processus temporels sont actuellement au centre des préoccupations, et des modèles théoriques du TDA/H. Plusieurs études ont récemment mis en évidence des corrélations entre les aspects temporels et d'autres domaines cognitifs et comportementaux. En effet, certaines dimensions temporelles semblent étroitement liées à d'autres compétences comme le contrôle moteur, les capacités d'écriture, à la flexibilité cognitive... (Puyjarinet et al., 2017). Aujourd'hui, les processus temporels occupent donc une place à part entière au sein de cette pathologie.

A travers le temps et les différents modèles théorique du TDA/H, les processus temporels ont toujours été évoqués, qu'ils soient considérés comme étant à l'origine du trouble ou en tant que simple conséquence neuropsychologique.

Au sein de cette pathologie, les processus temporels ont toujours été placés en parallèle des fonctions exécutive, jusqu'à la dernière conception actuelle soutenant que les déficits de timing et les déficits d'inhibitions représentaient deux déficits distincts, partiellement indépendants.

Il en est de même dans monde scientifique en général, même en sortant du cadre du TDA/H, peu très peu d'étude scientifiques se sont intéressées à l'étude des liens possibles entre processus temporels et les fonctions exécutives, ce n'est qu'indirectement que des corrélations peuvent être observées.

L'objectif de la partie théorique suivante va être d'abord de s'intéresser aux fonctions exécutives, en les décrivant et en constatant leur implication dans le domaine du TDA/H, mais aussi de souligner les éléments pertinents pouvant attester de l'existence de liens, de points communs, entre processus temporels et les fonctions exécutives.

## **Partie 2 : Fonctions exécutives dans le TDAH :**

### **I) Généralités sur les fonctions exécutives :**

#### **A) Définition et modèles des FE :**

Il n'existe pas de définition universelle des fonctions exécutives, mais celle apportée par Seron et al. (1999) fait consensus entre les différentes définitions que l'on peut rencontrer dans la littérature scientifique : « Les fonctions exécutives correspondent à un ensemble de processus

cognitifs dont le rôle est de faciliter l'adaptation du sujet aux situations nouvelles ou complexes, quand les habilités cognitives sur-apprises ne sont pas suffisantes. ».

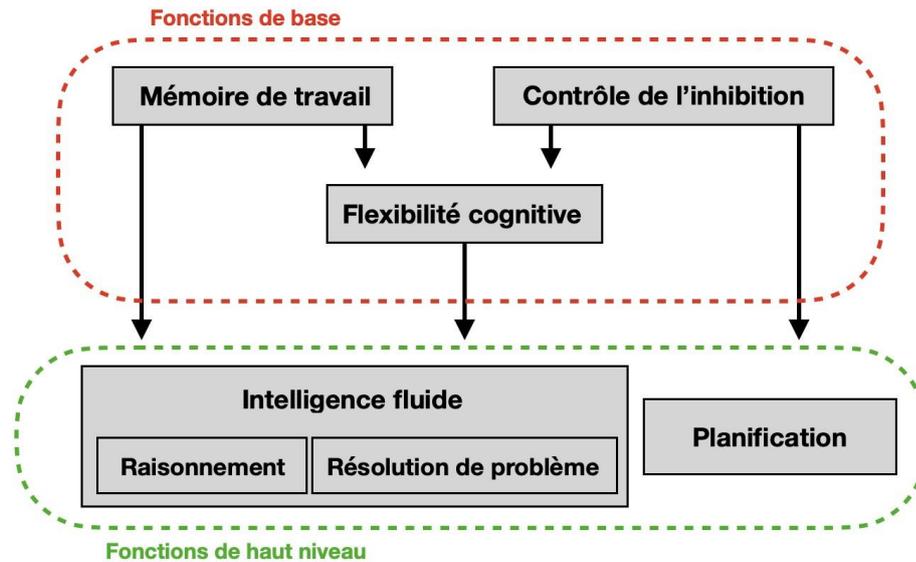
Les fonctions exécutives sont donc mobilisées dès lors qu'une tâche nécessite de mettre en œuvre des processus contrôlés, non routiniers et non-automatisés. Elles interviennent dans les situations nécessitant une analyse et un traitement spécifique des informations, dans le but de fournir une réponse adaptée.

Tout comme le fait qu'il n'existe pas de définition consensuelle, il n'existe pas non plus de liste exhaustive de ces des fonctions exécutives.

### 1) Modèle des fonctions exécutives de Diamond (2013) :

En 2015, une revue de littérature faisant état des lieux de l'approche neuropsychologique des fonctions exécutives retient deux modèles théoriques intégratifs (Roy, 2015). Le premier modèle est celui de Dennis, en 2006, qui soutient que le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail sont au centre du développement exécutif ; et le second modèle est celui de Diamond, datant de 2013.

Dans son modèle, Diamond propose un modèle des fonctions exécutives dans lequel il met en évidence les interactions entre les différents composants du système exécutif. Dans ce modèle, Diamond distingue trois fonctions exécutives centrales : l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive (cette dernière reposant en grande partie sur les deux premières). De l'association de ces trois fonctions centrales découlent d'autres fonctions dites « composites » ou de haut niveau : parmi elles on retrouve la planification, l'intelligence fluide ou encore la résolution de problème.



*Modèle des fonctions exécutives adapté et traduit d'après Diamond (2013)(Format détaillé en Annexe 2)*

Dans ce modèle, la mémoire de travail sélectionne les éléments pertinents (but, informations constitutives) à garder en mémoire lors de la réalisation d'une tâche, et ceux qui doivent être inhibés. Le contrôle inhibiteur va être en charge d'inhiber ces informations non pertinentes, pour libérer de l'espace en mémoire de travail et ainsi éviter une surcharge et une saturation. La flexibilité cognitive va s'appuyer sur les deux premiers composants pour permettre des changements de perspectives et d'éventuelles réadaptations par rapport aux exigences de l'environnement. De ces trois compétences exécutives de base découle l'intelligence fluide, composée des facultés de raisonnement et de résolution de problèmes, qui va permettre d'établir des relations entre les éléments, par la prise en compte de l'abstrait et en utilisant des raisonnements logiques et déductifs. Découle aussi la planification, qui consiste en l'élaboration mentale d'un plan ou d'une série d'actions, qui dans un laps de temps donné, va permettre d'accéder à un objectif donné.

Ces différentes fonctions exécutives agissent comme un ensemble, plus ou moins coordonné, en fonction de la spécificité des situations rencontrées.

## 2) Fonctions exécutives de base :

### Inhibition/ Contrôle inhibiteur :

L'inhibition correspond à la capacité à maîtriser les comportements automatiques et les pensées. C'est donc la capacité à résister aux distractions ou à inhiber une réponse attendue ou un commentaire qui nous traverse l'esprit.

Harnishfeger, en 1995, a proposé de discriminer plusieurs formes d'inhibition en fonction de deux dichotomies :

- Une première dichotomie qui oppose l'inhibition cognitive (qui porte sur les représentations) à l'inhibition motrice (qui porte sur la programmation motrice des réponses)
- Une deuxième dichotomie qui oppose l'inhibition consciente à l'inhibition automatique non consciente.

Par la suite, Hasher et al. distinguent, en 1999, trois fonctions principales à l'inhibition :

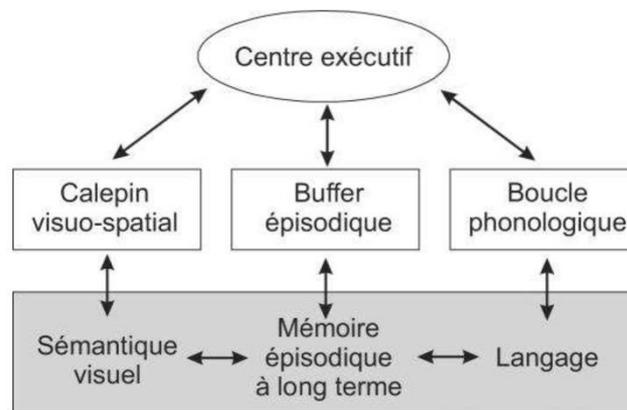
- Une fonction d'accès (oriente les représentations vers l'objectif visé)
- Une fonction de suppression (élimine les représentations non-pertinentes)
- Une fonction de suspension (mise en stand-by d'une réponse dominante pour en envisager une nouvelle)

Ces trois fonctions vont permettre, face à un stimuli perçu dans l'environnement, d'activer, de manière automatique et parallèle des représentations en mémoire, ainsi que des représentations associées. Cette phase initiale d'activation est modulée par des processus de contrôle attentionnel qui opèrent au service d'un but. Cette modulation implique un renforcement de l'activation des représentations pertinentes en référence au but et une suppression des représentations non-pertinentes. Le contenu de la mémoire de travail est alors composé de sousensembles de représentations activées prioritairement à l'issue de cette modulation.

### Mémoire de travail :

La mémoire de travail se réfère à un système permettant le stockage temporaire et la manipulation de l'information nécessaire à des tâches cognitives complexes. Elle rend possible le stockage et le traitement simultanés de l'information.

Le modèle théorique le plus utilisé pour décrire le mécanisme de la mémoire de travail est le modèle de Baddeley, datant de 2000 (réédition du modèle de Baddeley et Hitch, 1974).



Modèle de la mémoire de travail traduit d'après Baddeley (2000)

Dans ce modèle la mémoire de travail est constituée de différents composants :

- **Boucle phonologique** : elle correspond au lieu de stockage temporaire (quelques secondes) et limité de l'information phonologique. Le maintien de l'information s'effectue grâce au système de répétition vocale et sub-vocale. La boucle phonologique se compose donc de deux sous-composants : le stocke phonologique, dédié au stockage temporaire de l'information, et la boucle phonatoire, chargée de la fonction de répétition internalisée.
- **Calepin visuo-spatial** : c'est le lieu de stockage temporaire (quelques secondes) et limité de l'information visuelle (forme, couleur, taille...) et spatiale (localisation). Le calepin visuo-spatial va intervenir dans les situations d'orientation dans l'espace, dans la génération d'image mentale et leur manipulation, et dans la rotation mentale.
- **Buffer épisodique** : c'est un système de stockage temporaire des informations sous forme multimodale. Baddeley le décrit en 2003, comme un système séparé et complémentaire de la mémoire à long terme : c'est le buffer épisodique qui fait la liaison entre les données de la mémoire à long terme et les informations issues des deux systèmes précédents, pour former un ensemble amodal. Le buffer épisodique est donc considéré comme une sorte de mémoire tampon qui permet la rétention temporaire d'informations provenant de diverses sources.
- **Administrateur central** : il correspond à la composante exécutive de la mémoire de travail, il va être en charge de contrôler et de gérer les sous-systèmes en orientant et répartissant les ressources attentionnelles, en fonction de la tâche à effectuer. Il est relié

à 4 processus exécutifs : l'attention sélective, l'attention divisée, la focalisation attentionnelle et l'activation des informations en mémoire à long terme (Baddeley, 1996). L'un des processus majeurs accordé à l'administrateur central va être la mise à jour de l'information stockée en mémoire, cela permet de maintenir les idées pertinentes et inhiber celles qui ne le sont plus dans la poursuite du but visé. Il peut également filtrer les informations concurrentes non désirée afin d'éviter les interférences.

### Flexibilité cognitive :

La flexibilité cognitive est une fonction supérieure permettant l'adaptation à une situation, par la génération de différents modes de pensées et différents points de vue. C'est donc un changement adaptatif face aux situation nouvelles. La flexibilité cognitive permet aussi de passer d'une tâche à une autre de manière opérationnelle.

En 1993, Eslinger et al. distinguent deux catégorie de flexibilité : la première correspond à la flexibilité réactive, c'est la capacité à changer de processus face à un changement dans l'environnement ; et la seconde correspond à la flexibilité spontanée, qui consiste à produire un flux d'idées ou de réponses à partir d'une question simple. Cette dernière capacité nécessite de pouvoir faire preuve de créativité et pouvoir générer de nouvelles idées tout en inhibant les réponses habituelles.

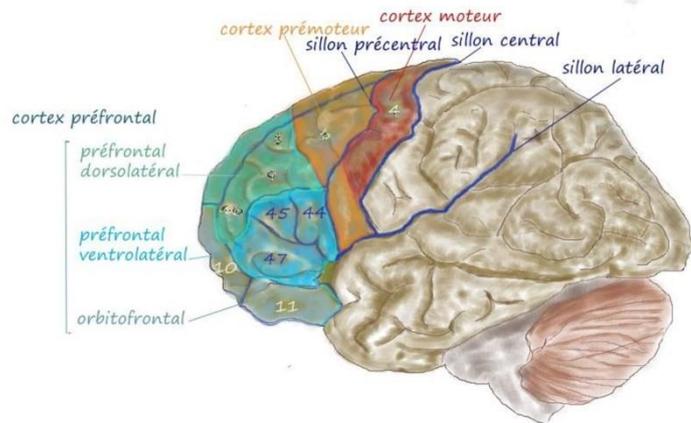
La flexibilité cognitive est une fonction supérieure qui semble étroitement liée aux fonctions d'inhibition et de mémoire de travail : pour qu'elle soit efficiente, la flexibilité cognitive nécessite d'inhiber des réponses non pertinentes tout en maintenant de nouvelles informations en mémoire de travail (Diamonds, 2013).

Le défaut de flexibilité va donc se traduire par des rigidités et de la persévération qui consiste à répéter indéfiniment les mêmes processus, à difficilement se désengager d'une action en cours ou s'engager dans une nouvelle.

## **B) Bases neuro-anatomiques des fonctions exécutives :**

### 1) Quelles zones cérébrales sont impliquées dans le fonctionnement exécutif ?

Au cours du temps et à travers les différentes observations cliniques de sujets présentant des lésions cérébrales au niveau frontal ont permis de montrer son implication dans les fonctions exécutives (pour un exemple : histoire de Phineas Gage (Damasio, 1994). Grace aux techniques d'imagerie cérébrales récentes des précisions ont été apporté sur les zones et les réseaux cérébraux spécifiquement impliqués. En plus du cortex frontal, des études ont également montré le rôle important que joue le striatum dans les tâches de fonctions exécutives (McDonald et al., 2002 ; Chudasama et al, 2006).



### Cortex frontal :

Le lobe frontal se divise en trois aires : l'aire motrice primaire, l'aire pré-motrice et l'aire préfrontale. Sur le plan fonctionnel, cette dernière est liée aux fonctions exécutives (Fuster, 1991 ; Luria, 1973). Il se compose de zones :

- Le cortex préfrontal dorsolatéral (aires 8, 9 et 46 de Brodmann)
- Le cortex ventrolatéral (aires 44, 45 et 47 de Brodmann)
- Le cortex préfrontal orbitofrontal (aires 10 et 11 de Brodmann)

En 1999, à travers des expériences neuroscientifiques, Metcalf et al., ont démontré que c'est la zone du cortex préfrontal dorsolatéral qui est le plus activé lors de la sollicitation des fonctions exécutives.

### Striatum :

Les fonctions exécutives sont dépendantes d'un réseau frontostriatal organisé en boucles : chaque boucle commence dans une région spécifique du cortex frontal et innerve différents niveaux du striatum avant d'être retransmis à son origine corticale (Alexander et al., 1986 ; Chudasama et al, 2006)).

## 2) Quels sont les neuromédiateurs impliqués dans le fonctionnement exécutif ?

Le bon fonctionnement des circuits formés entre le cortex préfrontal et le striatum dépendent de l'intervention de plusieurs neurotransmetteurs, dont la dopamine (Ozga et al., 2018).

Lors de tâches nécessitant l'utilisation des fonctions exécutives, la dopamine est fortement concentrée dans les régions striatales et remplit une fonction de signalisation forte dans le cortex préfrontal. Bales et al, en 2009 ont montré que des modifications du système dopaminergique entraînent un dysfonctionnement comportemental et exécutif.

### C) Ontogénèse des fonctions exécutives :

Sur le plan développemental, le cortex préfrontal est la partie du cerveau qui est la plus longue à se développer : elle obtient sa maturation biologique qu'à partir de l'adolescence (Dennis, 2006). Le développement des fonctions exécutives est donc relativement long. A l'heure actuelle, il est difficile de déterminer de manière formelle quel est le processus développemental typique des fonctions exécutives, par manque d'études longitudinales (Monette et al., 2008), néanmoins il est possible, à travers plusieurs articles scientifiques, de dégager quelques étapes communes. Malgré la maturation tardive du cortex préfrontal, les premières manifestations du fonctionnement exécutif s'observent à partir de 12 mois (Crone, 2009 ; Diamond 2002). Par la suite, le développement du cortex préfrontal durant l'âge préscolaire va permettre le développement important des fonctions exécutives entre 3 et 5 ans (Garon et al. 2008). Seulement elles n'atteindront leur maturation définitive qu'à partir de 21 ans (Monette et al., 2008).

## II) Fonctions exécutives dans le dans le TDA/H :

### A) **Déficit des fonctions exécutives dans le TDA/H :**

Dans la littérature scientifique, plusieurs auteurs rapportent l'existence de difficultés au niveau des fonctions dites supérieures dans le TDA/H, allant parfois jusqu'à les intégrer au sein des modèles explicatifs (Barkley, 1997 ; Schachar et al. 2000 ; Sonuga-Barke 2002 ; Castellanos et al., 2002). Dans une méta-analyse, datant de 2005, Willcutt rapporte que l'on peut régulièrement

observer, chez plusieurs sujets porteurs de TDA/H, des dysfonctionnements exécutifs touchant des fonctions telles que l'inhibition, la planification ou encore la mémoire de travail, mais pas chez tous. Cela confirme l'importance de ce type de déficit dans le tableau sémiologique du trouble.

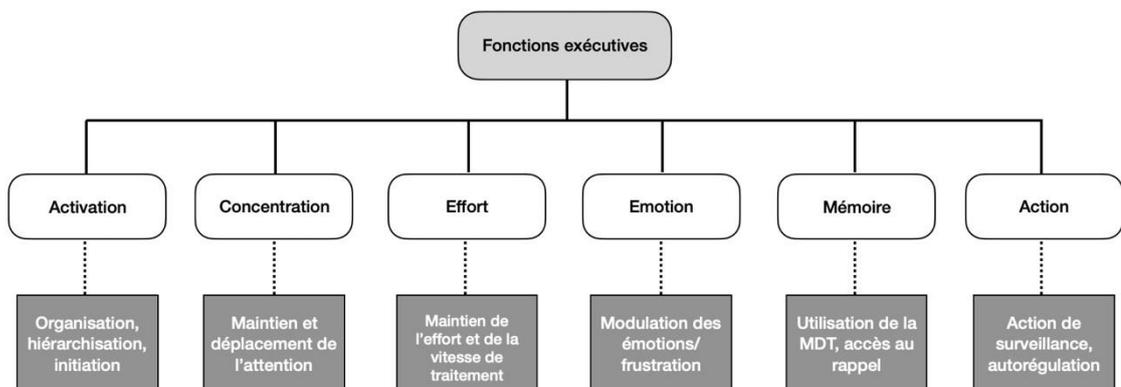
## B) Place des fonctions exécutives dans les modèles théoriques du TDA/H :

Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, il existe aujourd'hui de nombreux modèles théoriques dont l'objectif est de déterminer quels sont les mécanismes neuropsychologiques à l'origine du TDA/H, mais la communauté scientifique n'est pas encore unanime à ce sujet. Plusieurs de ces auteurs placent le déficit de fonction exécutives au sein de leur modèle : à commencer par Barkley en 1997 (que nous avons vu dans les parties précédentes), puis Brown en 2006.

### 1) Modèle de l'inhibition comportementale de Barkley (1997) :

Dans son modèle, Barkley soutient que le TDA/H est essentiellement dû à une altération du développement des fonctions exécutives. Pour lui, la fonction exécutive primordiale serait l'inhibition des réponses automatiques, et ce serait à partir de cette fonction d'inhibition que les autres fonctions exécutives seraient développées. Ce serait la désinhibition comportementale qui entraînerait un déficit de quatre autres fonctions (cf. p. 18).

### 2) Modèle des fonctions exécutives déficitaires de Brown (2006) :



*Modèle des fonctions exécutives déficitaires d'après Brown (2006)*

Comme Barkley, Brown considère que le TDA/H résulte essentiellement d'une déficience du développement des fonctions exécutives. En revanche, ce dernier ne va pas hiérarchiser les fonctions : le problème concerne l'activation et le maintien de six fonctions exécutives importantes. En termes plus exactes, Brown décrit plutôt 6 groupements (clusters) de plusieurs fonctions cognitives. Ces six groupements sont : l'activation, la concentration, l'effort, l'émotion, la mémoire et l'action.

D'après lui, les sujets porteurs de TDA/H sont capables d'utiliser indépendamment chacune de ces fonctions (clusters) et ce de manière fonctionnelle, en revanche, c'est à partir du moment qu'il est nécessaire de les intégrer dans un modèle dynamique et interactif que les difficultés apparaîtraient. Ce serait la gestion des différents réseaux neuronaux en charge de ces fonctions cognitives qui serait déficitaire.

Même si ces deux modèles théoriques diffèrent sur plusieurs points, les auteurs s'accordent à affirmer que toutes les personnes atteintes de TDA/H souffrent de troubles importants des fonctions exécutives et que les troubles du développement de ses fonctions sont l'essence même du TDA/H. (Brown, 2006)

### **Partie 3 : Liens entre les processus temporels et les fonctions exécutives**

#### **I) Des éléments en commun :**

Tout d'abord, lorsque l'on s'intéresse aux principales zones cérébrales mobilisées lors de tâches impliquant des processus temporels, ou lors de tâches impliquant les fonctions exécutives, on constate que deux zones communes sont fortement impliquées dans chacun de ces processus : le cortex préfrontal dorsolatéral et le striatum (composé du noyau caudé et du putamen). C'est ce qu'avaient constaté Koch et al. en 2003 : ils avaient observé que la stimulation magnétique transcrânienne répétitive du cortex préfrontal dorsolatéral droit entraînait une sous-estimation temporelle des durées supérieures à la seconde, et il s'avère que cette structure neuronale est aussi impliquée dans la mémoire de travail (Wager et al, 2003) et dans le contrôle de l'impulsivité (Jasinska, 2013). Fuster en 2000 a même émis l'hypothèse que les circuits neuronaux intervenant dans la synchronisation chevauchent les mécanismes neuronaux de la

mémoire de travail. Cette hypothèse reste encore aujourd'hui à un stade d'hypothèse spéculative.

Si l'on s'intéresse maintenant aux ressources attentionnelles utilisées par les processus temporels et les fonctions exécutives, des chercheurs ont montré, à travers une étude sur les interférences bidirectionnelles entre les tâches simultanées de synchronisation et d'inhibition, et grâce à une tâche de Go/ No-Go, que le traitement temporel et le contrôle inhibiteur dépendaient du même pool commun de ressources attentionnelles (Brown et al, 2017).

Et enfin, lorsqu'on s'intéresse à leur ontogenèse, on constate que les processus temporels et exécutifs ont le même type de développement, sur plusieurs années durant l'enfant, à la différence que les processus temporels sont présents dès la naissance et matures à partir de 8 ans et que les fonctions exécutives, arrivent plus tardivement, vers l'âge de 1 an, et qu'elles ont une maturation bien plus lente, puisqu'elles ne deviennent totalement matures qu'à partir de 21 ans. Les processus temporels se développent donc plus précocement que les fonctions exécutives. Vicario développe en 2013, une idée selon laquelle les fonctions de timing et les fonctions exécutives possèderaient un développement parallèle, s'influençant mutuellement. Cette idée peut être soutenue par les travaux de Droit-Volet datant de la même année : à travers une étude sur le développement de la sensibilité au temps et la vitesse de traitement de l'information, les chercheurs ont constaté d'une part que les mécanismes sous-jacents au traitement temporel s'amélioraient au cours du développement (mécanismes de synchronisation plus rapides et meilleure précision temporelle), et d'autre part, que cette accélération affectait une cascade d'autres processus cognitifs tels que l'attention et la mémoire de travail.

## **II) Des corrélations dans les déficits et les performances :**

Plusieurs études scientifiques ont observé des corrélations entre les capacités de fonctions exécutives et les capacités temporelles. A commencer par Mangels et al, en 1998 et Casini et al, en 1999, qui ont observé que des patients possédant des lésions au cortex préfrontal présentaient des déficits dans les tâches de mémoire de travail et qu'ils étaient moins précis dans les tâches de chronométrage. En 2004, à travers une nouvelle tâche d'actualisation expérimentale, Reynolds et al, ont montré que l'impulsivité due à une privation de sommeil entraîne une sous-estimation temporelle de l'ordre de plusieurs secondes. En écho à cette dernière étude, l'article de Vicario et al. en 2010, sur des enfants porteurs du syndrome de Gilles

de la Tourette fournit un aperçu supplémentaire du lien entre le contrôle de l'impulsivité et les mécanismes de chronométrage, en effet, l'augmentation de la précision dans la reproduction d'intervalles de temps chez les sujets atteints de syndrome de Gilles de la Tourette, semble contribuer à l'amélioration de leur contrôle cognitif (notamment le contrôle inhibiteur). Et enfin récemment, en 2018, Ogden évoque dans l'un de ses articles que ces dernières années ont vu un intérêt croissant pour ce que l'on appelle des « études prédictives » du timing, études reliant performances en termes de chronométrage et performance cognitives (mémoire, attention, fonctions exécutives), et que les recherches faites à ce sujet montraient généralement qu'une plus grande « capacité cognitive » était associée à une perception temporelle moins variable et plus précise (Brown et al, 2017 ; Droit-Volet, 2013 ; Ogden et al, 2014 ; Mioni et al, 2013 ; DroitVolet et al, 2015).

D'autres corrélations ont aussi été repérées entre ces deux fonctions, mais cette fois-ci dans des études portant spécifiquement sur le TDA/H. A commencer par Noreika, et al. en 2013, qui soutiennent dans leur méta-analyse que les déficits de timing dans le TDA/H semblent être associés à d'autres déficits des fonctions exécutives, en particulier la mémoire de travail (pour les tâches de discrimination temporelle et de reproduction) mais aussi au contrôle inhibiteur (dans les tâches de reproduction). En effet, ils vont citer plusieurs études attestant que les scores en mémoire de travail des enfants TDA/H semblent corrélés avec les résultats de la tâche de discrimination de durée (Toplak et al, 2005 ; Yang et al, 2007, in Noreika 2013), même si ce n'est pas toujours le cas (Kerns et al, 2001, in Noreika 2013). Et qu'il en est de même pour les scores d'écart absolu (Bauermeister et al, 2005, in Noreika, 2013) et pour les intervalles produits moyens dans les tâches de reproduction de durée (Toplak et al, 2003, in Noreika, 2013). Ils vont aussi citer une étude de Cubillo et al. datant de 2012 (in Noreika, 2013), dans laquelle les chercheurs s'intéressent à la persistance des troubles neurofonctionnels chez les sujets TDA/H à l'âge adulte et dans laquelle ils constatent que les déficits de la fonction de synchronisation peuvent être associés à des déficits du contrôle inhibiteur. Et enfin, ils citent Rubia et al., qui rapportent que les réponses prématurées des enfants TDA/H à différents tests d'impulsivité sont corrélées à des erreurs de discrimination temporelles, ils constatent donc qu'un déficit de synchronisation motrice, lié à un manque d'inhibition, affecte l'estimation du temps dans le TDA/H (Rubia et al, 2007, in Noreika 2013). En 2017, Puyjarinet et al. vont aussi observer une corrélation entre les fonctions de timing et les fonctions exécutives : à travers une expérience basée sur les capacités rythmiques d'enfants TDA/H, les chercheurs ont constaté que les compétences de suivi de

battement coïncidaient avec des fonctions telles que la flexibilité et l'inhibition : les sujets ayant un suivi médiocre du rythme présentaient de moins bons scores en flexibilité et inhibition.

### **III) Des possibilités de prise en charge alliant les processus temporels et les fonctions exécutives ? :**

Récemment, en 2020, Puyjarinet et al. ont mené une étude auprès d'une vingtaine d'enfants TDA/H dont l'objectif était de proposer une prise en charge psychomotrice basée sur des mises en situations rythmiques et de tester son impact sur les capacités attentionnelles et exécutives d'enfants TDA/H. Pour cela ils ont proposé aux enfants des exercices de synchronisation à des rythmes externes de types métronome ou musiques, ils ont procédé à un design test-retest pour évaluer les fonctions attentionnelles et les fonctions exécutives grâce à des batteries d'évaluation neuropsychologique. Suite à la mise en place du programme, ils ont pu constater de manière générale que les fonctions attentionnelles et les fonctions exécutives avaient été améliorées : meilleures capacités d'inhibition, réduction de l'impulsivité cognitive et une meilleure maîtrise de la mémoire de travail visuo-spatiale. L'attention divisée s'était aussi légèrement améliorée. En revanche, l'attention soutenue auditive, l'attention visuelle sélective et l'aversion du délai sont restées inchangées.

Cette étude renforce donc l'hypothèse de liens pouvant exister entre capacités rythmiques et fonctions attentionnelles/ fonctions exécutives. Et les auteurs terminent leur étude en insistant sur le fait que ce type de prise en charge psychomotrice pourrait s'avérer être prometteuse dans l'accompagnement thérapeutique des enfants TDA/H.

### **Conclusion Partie Théorique**

Cette partie théorique visait tout d'abord à rappeler ce qu'est le TDA/H et quelles sont ses expressions au niveau neuropsychologique, pour ensuite s'intéresser de manière plus précise à deux domaines fréquemment impactés dans cette pathologie, à savoir les processus temporels et les fonctions exécutives. Chacun de ces domaines a été détaillé dans son ensemble : les généralités, la présentation de leurs différents modèles théoriques, leur localisation au niveau cérébrale, leur ontogénèse, pour finir par leur implication dans le TDA/H. Le développement théorique de ces deux fonctions avait pour objectif d'amener progressivement l'idée que les processus temporels et les fonctions exécutives sont liés : ils semblent avoir plusieurs éléments en communs, partager les mêmes zones corticales, présenter un développement parallèle et

semblent être corrélés dans plusieurs performances et déficits. Même si ces différents résultats scientifiques renforcent l'idée que les processus temporels et les fonctions exécutives sont liés, toute cette réflexion n'en est encore qu'au stade d'hypothèse : c'est un champ encore très peu exploré dans le domaine scientifique et dans le domaine de la rééducation.

Comme ses deux domaines partagent plusieurs éléments en commun, qu'ils semblent corrélés dans plusieurs situations, et qu'au niveau développemental, ce sont les processus temporels qui sont premiers (présence et développement dès la naissance) ; on peut supposer que les processus temporels servent en fait de base de développement aux fonctions exécutives. En effet, les processus temporels se développent très tôt dans l'enfance et ont une maturation plus rapide, contrairement aux fonctions exécutives, qui ont une émergence et une maturation plus tardives. L'hypothèse serait que l'efficacité des fonctions exécutives dépendrait de l'efficacité des processus temporels, et que ces derniers seraient en fait à l'origine de leur développement.

L'objectif de la partie pratique suivante, va être d'illustrer l'existence de ce lien entre processus temporels et fonctions exécutives, par la mise en place d'une rééducation spécifique auprès d'un enfant TDA/H. L'hypothèse serait qu'en lui proposant une prise en charge uniquement basée sur la rééducation de ses processus temporels, cela pourrait avoir un impact positif sur ses capacités en fonctions exécutives.

## Partie Pratique

---

### **I) Présentation de Noé :**

Noé est un jeune garçon âgé de 9 ans et 6 mois durant la réalisation du mémoire. Il est suivi au cabinet depuis l'âge de 5 ans et 3 mois. Initialement, Noé avait été adressé par son pédiatre pour des difficultés de concentration et d'autonomie à l'école, ainsi que des difficultés en graphisme. Depuis le début du suivi, un diagnostic de TDA/H a été posé par son médecin et la prise en charge en psychomotricité continue donc, à raison d'une séance par semaine.

Parallèlement, Noé est suivi depuis ses 4 ans 8 mois en orthophonie, deux fois par semaine, car il présente un trouble spécifique du langage oral (TSLO), ainsi qu'un trouble spécifique du langage écrit (TSLE).

**A) Anamnèse :**

[       ]

## **B) Bilans :**

### **1) Bilan d'évolution orthophonique de la communication, du langage oral et du langage écrit (9 ans 8 mois) :**

Noé est suivi au rythme de 2 séances par semaine depuis l'âge de 4 ans 8 mois pour un retard de parole, de langage oral et de langage écrit persistant.

Il est actuellement scolarisé en CE2 et la plainte porte principalement à présent sur le langage écrit. Depuis le dernier bilan réalisé, les séances de rééducation orthophonique ont porté sur le travail de la parole, le langage oral (enrichissement lexical et construction syntaxique), et le langage écrit.

Au niveau du comportement, Noé est désireux de bien faire ; sa concentration reste fragile et il est nécessaire de le re-canaliser régulièrement sur sa tâche ; on sent un effet de longueur et de fatigabilité.

Au niveau communicationnel, Noé s'ouvre peu à peu et raconte spontanément, relate il est plus aisé en spontané et désireux de partager son vécu. On note un progrès au niveau de la parole mais toujours avec un léger trouble phonologique persistant.

Au niveau du langage écrit : la conscience phonologique est fluctuante ; on note des confusions visuelles des graphèmes (g/j/gn), des inversions de groupes consonantiques complexes ; des confusions de phonèmes complexes (on/ou/oi...) ; le déchiffrage se met en place. La lecture par voie lexicale n'est pas encore développée (absence de stocke de mots irrégulier). La lecture de texte on note un score de vitesse de lecture par adressage de CP avril. On note également une hypophonie.

En transcription : on note des progrès sur les graphèmes simples ; la segmentation est difficile (tous les mots sont attachés) ; on note de grandes difficultés phonologiques résiduelles.

Les notions d'orientation sont en cours et le niveau de mémoire de travail est en-dessous de ce qui est attendu pour son âge.

### **2) Bilans psychomoteurs :**

#### **Bilan initial (5 ans 4 mois) :**

Durant le bilan, Noé se montre très timide et réservé. Il est difficile pour lui d'essayer de faire les choses, par peur de l'échec, mais il est sensible aux encouragements. Il peut se montrer impulsif et commence l'épreuve durant l'énoncé des consignes.

En plus des difficultés motrices, situées principalement autour de la sphère de la motricité manuelle ; ce bilan révèle d'importantes difficultés en termes d'attention. Noé se montre distractible. Il n'a pas encore mis en place de stratégies de recherche et de vérification. Il est impulsif et a besoin de l'aide de l'adulte pour réguler son attention.

Les premiers axes de travail mis en place suite à ce premier bilan sont donc : les fonctions exécutives (attention et impulsivité), la motricité fine, le graphisme et l'équilibre.

### Bilan d'évolution (9 ans 2 mois) :

Au niveau du comportement, par rapport à l'an dernier, l'impulsivité est un peu mieux canalisée et Noé attend d'avoir bien intégré les consignes avant de commencer l'exercice. Sur le plan relationnel, il semble plus ouvert et échange plus facilement avec l'autre, qui que son discours comporte encore peu de détails. A la fin du bilan, Noé va se plaindre de fatiguer et s'agiter.

#### • Fonctions motrices :

##### ➤ Motricité globale (M-ABC)

Dextérité digitale	10 points	< 5e RP
Viser/ Attraper	2 points	> 15e RP
Équilibres	4 points	5-15 RP
Score total	16 points	< 5e RP

Sur le plan de la motricité manuelle, Noé se montre plus fluide d'un essai à l'autre et sa prise est adaptée, le rôle de chaque main est automatisé, c'est surtout en précision visuomotrice que Noé est le plus en difficulté, le tracé est très tremblé et il a du mal à rester dans le chemin. Noé est plus à l'aise lors des réceptions que dans les lancers. Les équilibres sont fragiles, surtout en dynamique, Noé manque encore de contrôle moteur.

##### ➤ Graphisme (BHK) :

Épreuve non cotable. Noé n'a pas pu recopier le premier paragraphe durant les 5 minutes (arrêt milieu 2<sup>e</sup> phrase). Sa prise n'est pas fonctionnelle et malgré des tentatives pour la modifier, celle-ci revient au bout de quelques secondes. Noé a progressé en termes d'organisation de la page et au niveau de la taille des lettres.

- Orientation spatiotemporelle :

La droite et la gauche sont acquises en référence au corps propre et la notion de réversibilité l'est aussi. Sur le plan temporel, la comptine des jours de la semaine se met en place.

- Praxies visuo-constructives : (Figure de Rey A)

Noé procède par juxtaposition de détails, toutefois l'ensemble est peu reconnaissable (type 5) en raison de difficultés perceptives et d'organisation. La production en mémoire est fidèle à la production en copie, témoignant de capacités de mémoire visuelle satisfaisante.

	Score (cotation Wallon)		Temps	
Copie	31 points	- 2,9 DS	10 min	95-98 RP
Mémoire	23 points	- 0,6 DS	3 min 26	50-75 RP

- Fonctions attentionnelles : (T2B)

La vitesse d'exploration est trop lente en situation de double tâche et l'attention est très couteuse.

	B1		B2	
Vitesse	104,3	-0,2 ESIQ	26,1	-4,11 ESIQ
Inexactitude	7,2%	-0,8 ESIQ	14,5%	-0,5 ESIQ
Rendement	121,04	-0,3 ESIQ	59	-3,3 ESIQ

- Fonctions exécutives

➤ Planification : (Tour de Londres)

Noé déplace presque toutes les boules, sans élaborer de stratégie. Si c'est la bonne, il parvient bien à dérouler la suite, mais si ce n'est pas le cas, il est en difficulté pour élaborer une nouvelle stratégie et persiste dans l'erreur.

Score Krikorian	25 points	-2 DS
Score Anderson	50 points	-2, 04 DS

➤ Impulsivité/ Inhibition : (Laby 5-12)

Même si les capacités d'inhibition se sont améliorées, elles restent fragiles, il a aussi du mal à planifier.

Temps total	771 sec	- 3,9 DS
Indice général d'erreur	1,9	- 1,04 DS
Indice d'inhibition	0,3	- 1 DS
Indice d'aversion du délai	0,4	- 1 DS

**II) Prise en charge :**

C'est en séance de psychomotricité, lors de mes premières rencontres avec Noé, que j'ai pu constater qu'en plus de ses difficultés d'inattention, d'impulsivité et d'hyperactivité, il avait des difficultés majeures dans le domaine des processus temporels et des fonctions exécutives, et que ces déficits pouvaient représenter de réels obstacles au quotidien. Dans la littérature scientifique, nous avons vu précédemment que ces deux déficits ne sont pas toujours présents chez tous les sujets porteurs TDA/H, mais lorsque c'est le cas, ces deux difficultés représentent de réelles contraintes dans la vie du sujet et dans celle de son entourage.

Il était donc intéressant de proposer à Noé une prise en charge qui pourrait lui permettre d'améliorer ses compétences en fonctions exécutives, ainsi que ses capacités à gérer les processus temporels, car cela lui permettrait d'acquérir plus d'autonomie au quotidien, notamment en parvenant à s'organiser seul. Ceci permettrait de soulager ses parents qui ont constamment besoin de l'assister dans l'ensemble des tâches quotidiennes.

L'objectif de cette prise en charge est donc de répondre à la question suivante : La rééducation des processus temporels chez un enfant porteur de TDA/H permet-elle d'améliorer ses capacités en fonctions exécutives ?

Mon hypothèse vis-à-vis de cette question serait qu'en axant la prise en charge de Noé uniquement sur des activités de timing moteur et de timing perceptif, cela permettrait d'une part d'améliorer ses capacités dans ces deux domaines spécifiques, mais aussi et surtout, d'améliorer ses compétences dans les fonctions exécutives de base (mémoire de travail, inhibition et flexibilité cognitive), sans que celles-ci ne soient travaillées directement. Comme évoqué précédemment, si la qualité de maîtrise des processus temporels conditionne le niveau de capacités des fonctions exécutives, j'émet l'hypothèse que travailler uniquement sur ces processus temporels permettra à Noé d'être plus performant dans les tâches nécessitant l'emploi des fonctions exécutives.

Partant de cette perspective, j'ai créé un programme de rééducation des processus temporels, basé sur des activités permettant de travailler les fonctions de timing moteur et les fonctions de timing perceptif. Pour cela je me suis inspirée des études et des protocoles de rééducation des processus temporels que j'ai pu découvrir au cours de mes recherches théoriques (Shaffer, et al., 2001 ; Puyjarinet et al., 2020)

### **A) Récolte de données paracliniques :**

Avant toute chose, il était nécessaire d'évaluer les capacités de Noé dans les domaines des processus temporels et des fonctions exécutives, d'abord pour déterminer quelles étaient réellement ses difficultés, et ensuite pour me permettre d'effectuer un comparatif entre ses compétences avant et après la prise en charge.

Le dernier bilan psychomoteur de Noé datant de seulement un mois avant mon arrivée au cabinet et ne comportant que deux tests spécifiques aux fonctions exécutives et peu de détails au sujet de ses capacités au niveau des processus temporels, j'ai choisi de faire passer à Noé de nouvelles épreuves me permettant ainsi d'évaluer ces capacités dans ces domaines précis. Pour ces évaluations, j'ai fait le choix de sélectionner des tests que Noé n'avait encore jamais réalisés auparavant, de façon à évaluer ses capacités face à des situations totalement inédites.

#### **1) Évaluation des fonctions exécutives :**

### Évaluation de l'inhibition :

J'ai choisi d'évaluer les capacités d'inhibition de Noé en utilisant l'épreuve du MarcheArrête de la TeaCh. Dans cette épreuve, on demande à l'enfant d'avancer d'un pas sur une planche, sur laquelle sont représentés des pas, à l'aide d'un stylo, s'il entend un stimulus sonore mais d'arrêter si ce dernier est suivi d'un bruit d'explosion (moins de deux cents millièmes de secondes entre les deux). L'enfant ne doit donc pas se laisser aller à répondre de façon automatique (inhibition de réponse). La version A du subtest sera utilisé au début de la prise en charge, et la version B sera utiliser à la fin de la prise en charge, pour le retest.

### Évaluation de la mémoire de travail :

Pour évaluer les capacités en mémoire de travail de Noé, je me suis servi des Blocs de Corsi. Dans cette épreuve, il est demandé à l'enfant de reproduire une séquence de mouvements de pointage de différents cubes montrés par l'examineur. L'enfant doit dans un premier temps, reproduire la séquence dans le même ordre, puis dans un second temps, la reproduire dans le sens inverse. Le nombre de blocs désignés augmente progressivement et permet de déterminer l'empan visuo-spatial, d'abord l'empan endroit puis l'empan envers, qui correspond au nombre maximum de blocs que le sujet est capable de pointer sans erreur.

### Évaluation de la flexibilité cognitive :

Pour évaluer les capacités de flexibilité cognitive de Noé j'ai choisi d'utiliser le subtest des Mondes contraires de la TeaCh. Dans ce subtest deux conditions se succèdent : dans le « Monde à l'endroit », l'enfants nomme normalement les chiffres 1 ou 2 tels qu'ils se succèdent dans chacune des cases d'un parcours. Alors que dans le « Monde à l'envers », l'enfant doivent dire « un » quand apparait le chiffre 2, et inversement, dire « deux » quand apparait le chiffre 1. C'est l'examineur qui désigne dans l'ordre les chiffres à nommer sur le trajet et ne peut passer au suivant que lorsque l'enfant donne la bonne réponse. En chronométrant chaque trajet, on évalue donc la rapidité avec laquelle l'enfant peut réaliser ce changement cognitif, on aura donc une mesure du contrôle mental et de la flexibilité mentale de l'enfant. La version A du subtest sera utilisé au début de la prise en charge, et la version B sera utiliser à la fin de la prise en charge, pour le retest.

→ Résultats obtenus à l'évaluation des fonctions exécutives :

Fonctions exécutives		Brut	Standardisé
Inhibition (Marche-Arrête)		9	5% cumulés
Mémoire de travail (Blocs de Corsi)	Endroit	5	-0,48 DS
	Envers	3	-1,97 DS
Flexibilité cognitive (Mondes contraires)	A l'endroit	40	10%
	A l'envers	62	5%

## 2) Évaluation des processus temporels :

### Évaluation des capacités d'estimation temporelle :

Pour évaluer cette capacité j'ai choisi de proposer à Noé un exercice de Production de durée. Cet exercice consiste, pour l'enfant, à tenir un chronomètre, face cachée, le déclencher et l'arrêter quand il estime qu'un certain laps de temps, défini à l'avance, est passé. Pour cet exercice, j'ai demandé à Noé d'arrêter le chronomètre à : 30 secondes, 60 secondes, 50 secondes et 90 secondes. Noé n'a pas eu de feedback (connaissance de ses résultats) entre chacun de ses essais.

Cet exercice n'étant pas un test standardisé, l'évolution des Noé lors du re-test sera mesuré en le comparant à ses propres résultats.

→ Résultats obtenus à l'évaluation des capacités d'estimation temporelle : le delta représente l'écart en secondes qu'il existe entre l'estimation attendue et l'estimation faite par Noé.

Demandé	Production	Delta
30 secondes	19 secondes	- 11 secondes
50 secondes	93 secondes	+ 43 secondes
60 secondes	80 secondes	+ 20 secondes
90 secondes	112 secondes	+ 22 secondes

### Évaluation des capacités rythmiques :

J'ai choisi d'évaluer les capacités rythmiques de Noé en utilisant les Épreuves du rythme de Stambak. Ces épreuves sont constituées de 4 items différents permettant d'évaluer les capacités rythmiques de l'enfant :

- **Item 1** : Consiste à demander à l'enfant de frapper un rythme régulier à l'aide d'un crayon tenu verticalement et de chronométrer en combien de temps il frappe 21 coups.

→ Résultats obtenus à l'item 1 : Noé va frapper 21 coups en 8 secondes, son rythme n'est pas régulier : les 8 premiers vont être constant puis il va progressivement accélérer sa cadence jusqu'à 18 coups pour ensuite ralentir sur les 3 derniers.

- **Item 2** : Toujours à l'aide du crayon, l'enfant doit reproduire les 21 structures rythmiques que lui fait écouter l'examineur (cf. Annexe 2). Les différentes séries effectuées par l'examineur sont symbolisées par une succession de points, séparés ou non par des espaces. Ces derniers indiquent si deux sons doivent être séparés par un temps court ou par un temps long. L'enfant a deux essais pour réussir à reproduire la structure rythmique, sinon elle est comptée comme un échec. Les 21 structures rythmiques sont classées par ordre croissant de difficulté, le nombre de coups à frapper augmentant progressivement au fil des structures. L'examineur arrête l'exercice au bout de 4 échecs consécutifs.

→ Résultats obtenus à l'item 2 : Noé va comptabiliser 7 échecs à cette épreuve, précisément il va se tromper une fois sur la structure 8 et va échouer toutes les structures à partir de la structure 15 (les 2 dernières structures ne seront pas administrées).

- **Item 3** : Dans une première phase d'entraînement et d'explication, on présente à l'enfant deux exemples de structures rythmiques (la première constituée de 2 coups espacés par un temps court et la deuxième composée de 2 coups espacés par un temps long), et on lui demande s'il comprend les deux symbolismes représentés : le nombre de coups et comment ils doivent se succéder. Après cette phase d'explication, on passe à une phase de mesure, où l'on présente à l'enfant le support ayant servi à l'examineur lors de l'item 2, et l'enfant doit reproduire les 12 premières séries représentées. L'examineur va déterminer si l'enfant frappe le bon nombre de coups et s'il respecte les bons temps entre les coups.

→ Résultats obtenus à l'item 3 :

Phase d'entraînement : Noé comprend le symbolisme sans que je n'aie besoin de le lui expliquer, à noter en revanche que lorsque je lui demande de réaliser les deux exemples pour me montrer qu'il a bien compris, il frappe les deux structures de manière identique. Ce n'est que quand je lui demande quelle différence il fait entre les deux qu'il réalise correctement les deux structures (sans me l'expliquer verbalement).

Partie de mesure : La différence entre temps court/ temps long est respecté sur l'ensemble des items, en revanche le nombre de coups n'est pas toujours exact (souvent une frappe de plus à la fin, probablement dû à son manque d'inhibition), il fait 4 erreurs sur les 12 structures.

- **Item 4** : Identique à l'item 1, l'enfant frappe un rythme régulier et l'examineur chronomètre combien de temps il met pour frapper 21 coups.

→ Résultats obtenus à l'item 4 : Cette fois-ci Noé va frapper ses 21 coups en 10 secondes, durant 21 coups il va faire trois « pauses » pour ensuite reprendre à un rythme plus soutenu, avec par moment des accélérations.

Grâce aux différents résultats obtenus par ces évaluations j'ai pu déterminer plus précisément où se situaient les difficultés de Noé dans le domaine des processus temporels, ainsi que son niveau dans les 3 fonctions exécutives de base (inhibition, mémoire de travail et flexibilité cognitive).

J'ai alors pu décider de la forme et du contenu du protocole qui allait être mis en place pour cette prise en charge.

## **B) Présentation du protocole :**

L'objectif de cette prise en charge avec Noé est d'améliorer ses capacités dans le domaine des processus temporels : de l'aider à mieux percevoir et quantifier le temps qui passe, l'aider à mieux se repérer au niveau temporel au quotidien et améliorer ses compétences rythmiques. Cette prise en charge va aussi permettre de tester l'hypothèse évoquée plus haut, selon laquelle le fait de prendre en charge les processus temporels chez Noé permettrait d'améliorer ses capacités en

fonctions exécutives, plus précisément en inhibition, en mémoire de travail et en flexibilité cognitive, sans que celles-ci ne soient travaillées lors des séances.

### 1) Principes de rééducation :

Noé étant suivi en psychomotricité depuis 4 ans, les axes de prise en charge ont évolué avec les années, en fonction des besoins prioritaires liés à son quotidien. Depuis la rentrée de septembre, et le dernier bilan d'évolution, la prise en charge de Noé se concentre sur ses difficultés d'attention, le travail des fonctions exécutives, l'amélioration des praxies visuoconstructives et un travail sur la motricité globale, notamment en équilibre et en motricité fine. Au niveau du comportement, Noé est un garçon qui ne communique pas beaucoup en séance, mais qui se montre toujours très volontaire dans chacune des activités qu'on lui propose. Au début de son suivi en psychomotricité il a parfois pu se montrer opposant, néanmoins, même si cela dure encore parfois à la maison, il ne montre aujourd'hui plus aucun signe d'opposition lors des séances et accepte chacune des propositions qui lui sont faites. L'agitation motrice n'est pas trop envahissante et Noé parvient à faire des activités au bureau sans problème. Même si son agitation est plus modérée, il est préférable de privilégier des activités de fin de séance dans lesquelles il va pouvoir bouger et être plus moteur. En ce qui concerne le cadre de la séance, il est préférable de lui proposer des séances structurées, au début desquelles on lui expose le programme des activités qui vont être abordées. Cela permet une séance plus prédictive, permettant une meilleure adhésion de la part de Noé.

### 2) Structuration des séances :

Pour cette prise en charge, j'ai fait le choix d'organiser les séances en utilisant toujours la même structure, de façon à créer un cadre régulier pour Noé, pour qu'il puisse se repérer dans la séance. Dès la première séance je lui ai expliqué comment nous allons fonctionner pour les 6 séances prévus pour ce protocole.

J'ai choisi d'organiser mes séances en créant une alternance entre les séances paires (séances 2, 4, 6) et les séances impaires (séances 1, 3, 5). Cela me permet d'abord de faire en sorte qu'il anticipe moins mes questions d'une séance à l'autre (notamment sur la date et la question associée), ensuite d'être certaine qu'il a déjà expérimenté les situations que je lui propose lors des tâches d'estimation prospective en séance paire (la situation aura été

expérimenté lors de séance juste avant, en séance paire), et enfin pour alterner entre timing moteur et timing perceptif d'une séance à l'autre.

Dans un premier temps nous commençons toujours la séance par un temps d'accueil durant lequel je pose des questions à Noé afin de savoir comment il va, comment s'est passée sa matinée à l'école, ce qu'il a prévu pour le reste de l'après-midi... Ce temps d'échange est important car c'est le moment où Noé s'exprime le plus, il aime raconter des anecdotes sur sa journée. Arrive ensuite le déroulé classique de la séance.

#### Date du jour et question associée :

Je demande à Noé de me donner la date (jour, mois, année), et en fonction de la séance je lui demande :

- (Séances 1, 3, 5) De me donner la date du jour précédent et celle du lendemain,
- (Séance 2, 4, 6) De me dire si nous sommes actuellement le matin ou l'après-midi.

Une fois sa réponse donnée, s'il a eu du mal à répondre aux questions, nous en discutons ensemble, généralement en essayant de nous situer temporellement dans la semaine, dans l'année scolaire, par rapport aux vacances... en se servant de moments temporellement fixés, que Noé maîtrise.

#### Questions sur le repérage temporel :

Je lui pose ensuite deux questions faisant intervenir les notions temporelles, parmi une sélection faite au préalable :

- *Combien il y a de secondes dans une minute ?*
- *Combien il de minutes dans une heure ?*
- *Combien il y a d'heures dans une journée ?*
- *Combien il y a de jours dans une semaine ?*
- *Combien il y a de jours dans un mois ?*
- *Combien il y a de mois dans l'année ?*
- *Quelle heure est-il ?*
- *Combien de temps dure une séance en psychomotricité ?*
- *Quelle est ta date d'anniversaire ?*

- *Dans combien de temps est ton anniversaire ?*
- *A quelle heure tu te lèves le matin quand tu dois aller à l'école ?*
- *A quelle heure tu te couches le soir ?*

#### Activité « Classique » :

L'objectif lors de cette activité est de garder une activité que Noé pratique en séance habituellement et d'y ajouter un exercice temporel :

- (Séances 1, 3, 5) Soit d'estimation temporelle rétrospective (estimer le temps passer à la fin de l'activité)
- (Séances 2, 4, 6) Soit d'estimation temporelle prospective (estimer le temps que l'on va y passer au début de l'activité)

Cette activité permet de continuer à travailler avec Noé sur ses axes de prise en charge habituels tout en les intégrant dans ce protocole de rééducation spécifique.

#### Activité « Temporelle » :

Dans cette partie de la séance je propose à Noé une activité faisant intervenir spécifiquement les processus temporels :

- ▷ (Séances 1, 3, 5) Un jeu basé sur le Timing moteur parmi :
  - Jeu de Suivi de tempo : le joueur doit suivre un tempo régulier, soit en marchant soit en en faisant des sauts. On fait varier la rapidité du tempo et le joueur doit s'adapter aux changements de vitesse tout en restant régulier.
  - Jeu de Reproduction du rythme : à deux joueurs, le premier crée un rythme particulier en tapant dans ses mains ou en marchant, et le deuxième doit reproduire cette même structure.
- ▷ (Séances 2, 4, 6) Un jeu basé sur le Timing perceptif parmi :
  - Jeu de Timing prédictif : dans un premier temps, un joueur trace un trajet particulier sur le tableau, jusqu'à atteindre un point d'arrivée, et le deuxième joueur l'observe ; dans un deuxième temps, celui qui tracé le trajet recommence son tracé de manière identique et à la même vitesse, et le deuxième, tout en gardant les yeux fermés, doit déterminer temporellement le point d'impact du tracé jusqu'à l'arrivée.

- Jeu de Discrimination de durée : le joueur doit comparer deux stimuli auditifs et déterminer lequel des deux est le plus long/ le plus court.
- Jeu de Perception de changement de rythme : à l'écoute de structures rythmiques particulière, le joueur doit déterminer si la structure est régulière ou non.

Lors de chacune de ses activités, je fais en sorte d'accompagner Noé en lui faisant de nombreux feedback sur sa réalisation, j'essaie de lui indiquer les endroits où il a pu faire des erreurs et lui donne des conseils pour améliorer sa performance.

### Résumé synthétique des déroulements de séance :

Séances 1, 3, 5	Séances 2, 4, 6
<b>Date du jour :</b> Hier/ Demain :	<b>Date du jour :</b> Matin/ Après-midi :
<b>Questions :</b> - 1 - 2	<b>Questions :</b> - 1 - 2
<b>Activité Classique :</b> Jeu classique + Estimation rétrospective	<b>Activité Classique :</b> Jeu classique + Estimation prospective
<b>Activité Temporelle :</b> Timing moteur	<b>Activité Temporelle :</b> Timing perceptif

### 3) Déroulement des séances pour Noé :

➤ Date du jour et questions associées :

Au début de la prise en charge, il était difficile pour Noé de donner la date en entier. Il avait juste à chaque fois en ce qui concerne le jour (mercredi) et l'année (2021), par contre il a fait quelques erreurs en ce qui concerne le mois (février, mars) et il n'a jamais réussi à donner du premier coup le bon chiffre du jour, se trompant souvent de 2 à 4 jours.

En revanche, lorsqu'après une aide ma part, il réussissait à donner la date en entier, il était capable de me donner sans problème la date de la veille et celle du lendemain.

Pour ce qui est de préciser si nous étions le matin ou l'après-midi (les séances se déroulaient vers 11h), Noé s'est trompé au cours des deux premières séances, me répondant « je ne sais pas » et « l'après-midi ». A la suite de ces deux erreurs, nous avons discuté des différents points de

repères temporels qu'il pouvait exploiter pour savoir si l'on était le matin ou l'après-midi (repas du midi, moment d'inclusion l'après-midi...). Après cette discussion, Noé ne s'est plus trompé lorsque je lui posais la question lors des séances suivantes.

▷ Questions temporelles :

En ce qui concerne les questions temporelles, lors des 4 premières séances, Noé a su dire approximativement à quelle heure commençait la séance, et combien de temps celle-ci durait, donner sa date de naissance en entier et énumérer les jours de la semaine. En revanche il n'a pas été capable de répondre aux 4 questions suivantes : combien il y a de secondes dans une minute, combien il y a de minutes dans une heure, combien d'heures dure une journée et combien il y a de mois dans l'année. Suite à ses erreurs, nous avons pris le temps d'en discuter ensemble et de donner la bonne réponse.

A l'origine, j'avais prévu 12 questions différentes à répartir sur les 6 séances de prise en charge, mais suite aux erreurs commises sur ces 4 questions, j'ai préféré vérifier que les discussions et les bonnes réponses avaient été retenus et intégrés par Noé. Pour cela, j'ai choisi de lui poser ces mêmes questions lors des séances 5 et 6, et malgré notre échange précédent au sujet de ces questions, il a été nécessaire de lui rappeler les réponses, Noé répondant de manière approximative ou par des « je ne sais pas ».

▷ Activité « Classique » :

Pour cette partie de la séance, j'ai proposé à Noé des activités de visuo-perception et de visuoconstruction, couplées à des estimations prospectives et rétrospectives. Pour cela j'ai utilisé comme support de jeu le Tangram, qui consiste à disposer différentes formes géométriques entre-elles pour reproduire des silhouettes particulières.

Pour les estimations rétrospectives, une fois que Noé finissait une silhouette, je lui demandais d'estimer combien de temps cela lui avait pris pour la réaliser ; et inversement pour les estimations prospectives, avant de recommencer une silhouette, je lui demandais d'estimer combien de temps cela allait lui prendre pour la réaliser. Sur les premières séances, Noé avait tendance à souvent répondre « je ne sais pas » ou donner des estimations beaucoup trop grandes (ex : « 45 minutes »), nous avons donc échangé à ce sujet et fait de nombreux retours par rapport au chronomètre (chacune de ses réalisations étaient chronométrées). Malgré ses échanges et ses retours, Noé a eu du mal à me faire des estimations spontanées, j'ai alors décidé de lui proposer

des fourchettes de temps (« plus ou moins de 5 minutes », « plus ou moins que 2 minutes »). Ce guidage a permis à Noé de faire des estimations relativement proches de la réalité. Sur les dernières séances, il a réussi à faire des estimations de manière spontanée, ce montrant plus précis sur les estimations prospectives que rétrospectives.

▷ Activité « Temporelle » :

D'une semaine à l'autre nous alternions les activités de timing moteur et les activités de timing perceptif.

En ce qui concerne le timing moteur, sur les activités de suivi de tempo, Noé avait toujours besoin d'un certain temps d'adaptation lors des changements, et plus le tempo était lent, plus il était difficile pour Noé de se synchroniser. Au fur et à mesure, Noé a réussi à réduire son temps d'adaptation et à se synchroniser plus rapidement lors des changements de rythmes. Dans l'exercice de reproduction de rythme, Noé réussissait facilement à reproduire les séquences que je lui proposais, mais lui avait du mal à faire varier ses propositions.

En ce qui concerne le timing perceptif, les résultats de Noé à l'activité de timing prédictif sont restés très fluctuants tout au long des séances, il avait tendance à généralement sous-estimer le temps (cf. Annexe 4).

### **III) Résultats :**

#### **1) Comparaison Test-Retest sur l'évaluation des processus temporels :**

L'objectif principal de cette rééducation était de montrer qu'à travers la prise en charge des processus temporels, il était possible d'améliorer les capacités en fonctions exécutive de Noé. Ainsi, pour que cette hypothèse soit validée, il est d'abord nécessaire de constater une évolution positive de ses capacités dans le domaine des processus temporels. Pour cela, il faut passer par la confrontation des résultats obtenus avant la prise en charge, à ceux obtenus après la rééducation.

Si l'on s'intéresse d'abord aux capacités d'estimation temporelle, le tableau ci-dessous contient l'ensemble des données obtenues lors du Test et du Retest de Noé à l'exercice d'estimation temporelle.

Demandé	Production		Delta	
	Test	Retest	Test	Retest
30 secondes	19 sec	<b>37 sec</b>	-11 sec	<b>+ 7 sec</b>
50 secondes	93 sec	<b>44 sec</b>	+ 43 sec	<b>-6 sec</b>
60 secondes	80 sec	<b>33 sec</b>	+ 20 sec	<b>-27 sec</b>
90 secondes	112 sec	<b>100 sec</b>	+ 22 sec	<b>+ 10 sec</b>
Total de variation	314/230	<b>214/230</b>	+ 74 sec	<b>- 16 sec</b>

On constate à travers l'étude du retest que l'écart entre l'estimation demandée et l'estimation produite par Noé est moins important que lors du test. Avant la prise en charge, Noé avait tendance à surévaluer le temps, avec une surestimation de 74 secondes ; et après la prise en charge cette tendance s'est inversée, le delta de variation est beaucoup moins important, puisqu'il n'a fait qu'une sous-estimation de 16 sec par rapport au total attendu. Selon ces chiffres, après cette prise en charge, Noé arrive donc à se montrer plus précis dans ses estimations et à limiter les écarts.

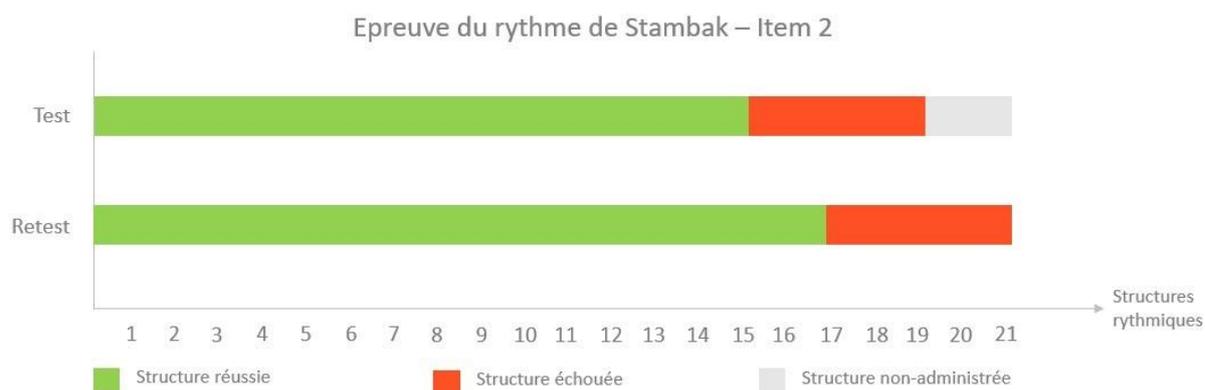
De même si l'on s'intéresse à ses capacités rythmiques, il est nécessaire de comparer les résultats qu'il a obtenu à l'épreuve de Stambak, avant la prise en charge, à ceux obtenus lors du retest.

Item 1 :

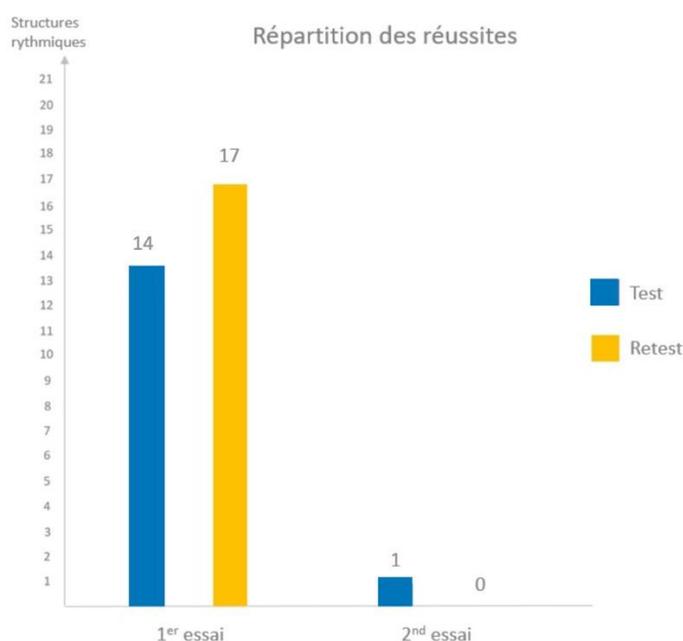
	Test	Retest
Temps pour frapper 21 coups	8 sec	<b>11 sec</b>

A l'item 1, lors du retest, Noé a réussi à frapper 21 coups avec le crayon en 11 secondes (soit 3 secondes de plus que lors du test), en revanche malgré le fait qu'il mette plus de temps à réaliser ces coups, il s'est montré beaucoup plus régulier, respectant une cadence plus réduite mais de meilleure qualité.

Item 2 :



A l’item 2, cette fois-ci, Noé a réussi à reproduire plus de structures rythmiques et n’a fait que 4 erreurs (3 de moins que lors du test), il a réussi à reproduire les structures 1 à 17 sans se tromper. Il a aussi été plus performant dans son nombre d’essais, car lors du test, il a eu besoin de 2 essais pour réussir l’une des structures (structure n°8), alors que lors du retest, chacune des structures réussies l’été dès le premier essai.



### Item 3 :

Lors de l’item 3, il a réussi à m’expliquer de manière claire la différence qu’il faisait entre les temps longs et les temps courts, montrant toujours une bonne compréhension du symbolisme. Que ce soit lors du test ou lors du retest, Noé a toujours respecté les variations de temps entre les coups, faisant bien la différence entre temps longs et temps courts. En ce qui concerne le bon

nombre de frappes Noé s'est amélioré lors du retest, puisqu'il n'a fait que 2 erreurs (contre 4 lors du test).

	Respect du nombre de coups	
	Test	Retest
1	Oui	Oui
2	Oui	Oui
3	Oui	Oui
4	Oui	Oui
5	Non	Non
6	Non	Oui
7	Oui	Oui
8	Oui	Oui
9	Non	Non
10	Oui	Oui
11	Non	Oui
12	Oui	Oui

Item 4 :

	Test	Retest
Temps pour frapper 21 coups	10 sec	<b>9 sec</b>

Pour l'item 4, il réussit à enchaîner 21 coups en 9 secondes (une seconde de moins par rapport au test), et malgré une pause marquant une rupture de rythme, Noé se montre plus régulier dans son tempo.

D'une manière générale, à la fin de cette prise en charge, on constate que malgré la persistance de quelques irrégularités au niveau du tempo et des problèmes de reproduction de rythme, certainement liés à son défaut d'inhibition, Noé a progressé en termes de perception rythmique et en régularité.

2) Comparaison Test-Retest sur l'évaluation des fonctions exécutives :

A la fin de ces 6 séances de rééducation, j'ai à nouveau fait passer à Noé les mêmes tests standardisés qui m'ont permis d'évaluer ses capacités en fonctions exécutive au début de la rééducation.

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des résultats que Noé a obtenu lors de la passation de ces tests, en début de prise en charge, mais aussi ceux obtenus lors du retest, en fin de prise en charge.

Fonctions exécutives		Bruts		Standardisés	
		Test	Retest	Test	Retest
Inhibition (Marche-Arrête)		9	<b>10</b>	5%	<b>7%</b>
Mémoire de travail (Blocs de Corsi)	Endroit	5	<b>5</b>	-0,48 DS	<b>-0,48 DS</b>
	Envers	3	<b>4</b>	-1,97 DS	<b>-0,99 DS</b>
Flexibilité cognitive (Mondes contraires)	A l'endroit	40	<b>33</b>	10%	<b>20%</b>
	A l'envers	62	<b>46</b>	5%	<b>10%</b>

Si on s'intéresse d'abord à l'épreuve de Marche-Arrête de la TeaCh, épreuve en charge de l'évaluation de l'inhibition et de l'impulsivité, on constate qu'au début de la prise en charge, le score de Noé à cette épreuve était très en-dessous de celui des autres enfants de son âge. En effet, les enfants impulsifs, dont Noé fait partie, sont en difficulté dans la réalisation de cet item car ils sont incapables de freiner le geste déjà amorcé. Les trois critères essentiels à la réussite de cette épreuve sont : un bon jugement temporel, un contrôle continu sur le geste et une bonne attention soutenue. Trois éléments qui sont justement fragiles, voir déficitaires chez Noé.

On constate néanmoins lors du retest, que le score de Noé à cette épreuve a légèrement augmenté, il est passé de 5 à 7 %. Même si son score reste déficitaire et cette légère augmentation ne lui permet pas de se placer dans la norme par rapport aux autres enfants, il semblerait que Noé ait légèrement augmenté ses capacités d'inhibition entre le début et la fin de cette prise en charge.

En ce qui concerne l'épreuve des Blocs de Corsi, en début de prise en charge, on constate que, sur l'empan endroit, les résultats de Noé sont dans la norme par rapport aux enfants de son âge. En revanche son score à l'empan envers traduit d'une certaine fragilité (limite déficitaire). Avec les résultats du retest, on constate que le niveau de capacité de Noé à l'empan endroit ne change pas : que ce soit au début ou la fin de la prise en charge, Noé est capable de pointer un maximum de 5 blocs sans faire d'erreur. En revanche, si on s'intéresse à l'empan envers, on constate qu'à la fin de la rééducation, Noé est capable de pointer dans le sens inverse un

maximum de 4 blocs sans faire d'erreur, soit un bloc de plus qu'au début de la prise en charge. Cette augmentation de capacité en empan envers lui permet d'obtenir un score plus élevé et, même s'il reste à la limite de la fragilité, de le passer dans la moyenne des enfants de son âge. Même si cela ne touche pas les deux empan, on peut néanmoins constater que les capacités en mémoire de travail de Noé ont augmenté à la suite de cette rééducation.

Et enfin, pour l'épreuve des Mondes contraires de la TeaCh, testant les capacités de flexibilité cognitive, les notes obtenues dans l'item du monde à l'endroit et celles du monde à l'envers, sont à considérer en parallèle. En effet, au début de la prise en charge, les notes aux deux items sont déficitaires, en revanche, celle du monde à l'endroit est supérieure à celle du monde à l'envers : cela signifierait que Noé maîtrise la gestion des processus automatiques mais qu'il présente également une rigidité cognitive face à une consigne inhabituelle, voire contradictoire.

Cette différence de résultat entre les deux items se retrouve aussi lors du retest, attestant que la rigidité cognitive de Noé est toujours présente, même après cette prise en charge. Néanmoins on constate que malgré la présence de cette rigidité, ses scores aux deux items ont nettement augmenté, car Noé a su se montrer plus rapide dans ses changements cognitifs.

## Discussion

---

Les résultats initialement attendus suite à cette prise en charge était principalement une augmentation des capacités des fonctions exécutives de base (inhibition, mémoire de travail et flexibilité cognitive), auquel s'ajoute une amélioration des capacités de timing moteur et de timing perceptif. Les résultats finalement obtenus sont conformes aux hypothèses émises. En effet, au niveau des processus temporels, cette rééducation a permis à Noé de se montrer plus précis lors des tâches d'estimations de temps. De plus il est désormais capable de produire un tempo spontané plus régulier et il a moins de difficultés à suivre un rythme imposé. Concernant le domaine des fonctions exécutives, malgré la présence de résultats toujours déficitaires, nous constatons qu'après cette prise en charge, Noé a réussi à faire preuve de meilleures capacités d'inhibition. Au niveau de la mémoire de travail, aucun changement n'a été repéré en ce qui concerne l'empan endroit, en revanche, on note une augmentation de l'empan envers. Enfin,

nous constatons une amélioration de la rapidité dans ses changements cognitifs même si la rigidité cognitive persiste. Une progression, même légère, est donc à noter chez Noé, aussi bien dans le domaine des processus temporels que celui des fonctions exécutives. Cette évolution permet de soutenir l'hypothèse que les fonctions exécutives et les capacités temporelles sont liées. Ces dernières influenceraient donc le niveau de capacité des fonctions exécutives.

Ces résultats semblent en adéquation avec les données scientifiques attestant d'une corrélation positive entre certains domaines du timing et certaines fonctions exécutives. Néanmoins, il existe à l'heure actuelle trop peu d'études scientifiques portant sur l'impact d'une prise en charge des processus temporels sur les fonctions cognitives (Shaffer, et al., 2001 ; Puyjarinet et al., 2020). De ce fait, il nous est difficile d'émettre des généralités ou conclusions précises à ce sujet. Par ailleurs, ces travaux se sont uniquement intéressés à l'impact d'une rééducation des processus rythmiques, ce qui ne correspond pas à la totalité fonctions temporelles. En effet, aucune étude dans le domaine de la rééducation psychomotrice ne s'est encore intéressée au cas du timing perceptif, rendant limitées toutes comparaisons avec les résultats pratiques obtenus.

Lors de l'élaboration du protocole de rééducation, la possibilité de se concentrer uniquement sur des exercices de timing perceptif a été évoqué. D'un point de vue théorique, cela semblait être une possibilité intéressante. Cependant, en pratique, se concentrer uniquement sur des exercices de timing perceptif durant les six séances de rééducation aurait fortement limité la variation des activités proposées. Il aurait alors été difficile de maintenir l'adhésion de Noé à la prise en charge, car ce dernier a besoin de changement et de variations fréquentes dans les activités pour pouvoir maintenir sa motivation dans le temps. Il est donc difficile de déterminer si les progrès repérés chez Noé proviennent de la rééducation dans son ensemble ou seulement du fait qu'un travail sur les processus rythmique ait été réalisé. Il est donc encore difficile de savoir quel est réellement l'impact d'une rééducation du timing perceptif.

De même, l'hypothèse selon laquelle les fonctions exécutives dépendraient des capacités temporelles reste encore à consolider. Même si les résultats obtenus lors de cette prise en charge se sont avérés positifs, ils ne concordent pas avec certaines situations que l'on peut rencontrer dans le TDA/H. En effet, comme le soulignait Sonuga-Barke dans son dernier modèle, certains sujet TDA/H peuvent présenter des profils différents, pouvant combiner des déficits temporels, une aversion du délai ou encore des déficits exécutif (Sonuga-Barke et al., 2010 ; Sjowall et al., 2012). Il s'avère que plusieurs sujets présentent un déficit temporel, combiné à des capacités exécutives fonctionnelles. Cette configuration ne coïncide pas avec l'idée selon laquelle les

processus temporels serviraient de base de développement au fonctions exécutives, car cela suppose que si le premier est déficitaire, le second l'est également.

De plus, j'ai tenté de mettre en place un système d'indicateurs durant cette prise en charge : des activités quantifiables permettant d'évaluer le niveau de chacune des fonctions exécutives, d'une séance à l'autre. Cela aurait permis de mettre en image l'évolution de ces fonctions exécutives sans pour autant les travailler. Malheureusement n'ayant pas pris en compte la nécessité d'introduire ses indicateurs quelques séances avant le début de la prise en charge, ces activités ne m'ont pas permises d'obtenir des résultats exploitables pour cette recherche. Il aurait été intéressant pour une étude comme celle-ci d'intégrer ce type d'outil.

Concernant les tests standardisés utilisés, l'épreuve des Blocs de Corsi manque de sensibilité. Face à de légères progressions comme celle-ci, il aurait été pertinent d'utiliser un test comme la Mémoire des Figures de la Nepsy II. Sa plus grande sensibilité aurait permis de constater plus précisément l'évolution des capacités de Noé en mémoire de travail.

Pour ce qui concerne la durée d'observation de cette rééducation, il aurait été nécessaire de prolonger cette prise en charge au-delà de 6 séances. En effet, ce délai reste insuffisant pour constater de réels changements dans les capacités temporelles et exécutives de Noé.

## Conclusion générale

---

L'objectif de ce mémoire est de mettre en évidence l'existence d'un lien entre les processus temporels et les fonctions exécutives, notamment dans le cas du TDA/H, et ceci malgré la quantité limitée de données scientifiques disponibles à ce sujet.

Dans un premier temps, il a fallu détailler de manière globale ces processus temporels et ces fonctions exécutives, pour ensuite aborder leur implication dans le TDA/H. Le détail de ces deux domaines a permis de constater plusieurs points communs entre eux, comme le partage de certaines zones corticales et de certaines ressources attentionnelles, ou encore leur ontogénèse parallèle. En effet, même si ces deux fonctions ne vont pas démarrer leur développement en même temps, les processus temporels étant plus précoces, elles vont toutes les deux suivre le même type de maturation et se développer durant l'enfance. Plusieurs études scientifiques attestent d'une corrélation entre ces deux domaines, que ce soit dans les performances et dans les déficits, et ceci dans plusieurs pathologies différentes. Certaines prises en charge se sont même basées sur l'exploitation de ce lien pour rééduquer les fonctions attentionnelles et

exécutives par l'intermédiaire du domaine rythmique. L'ensemble de ces éléments démontrent l'existence d'un lien entre les fonctions exécutives et les processus temporels. De plus, ils font émerger l'hypothèse selon laquelle les fonctions exécutives découleraient en réalité des capacités de processus temporels, et que la rééducation de ces derniers permettrait d'améliorer les capacités des sujets en fonctions exécutives.

Dans un second temps, nous avons testé cette dernière hypothèse. Pour cela un protocole de prise en charge uniquement basé sur des activités travaillant le timing moteur et le timing perceptif a été élaboré. Ce protocole a été proposé à un jeune garçon TDA/H présentant un déficit temporel et exécutif. La rééducation proposée a permis d'obtenir une augmentation des capacités en fonctions exécutives de base et ainsi qu'une amélioration des capacités de timing.

En conclusion, Les recherches dans le domaine du lien entre processus temporels et fonctions exécutives sont encore au stade d'exploration. Les avancées dans ce domaine permettraient de créer de nouvelles méthodes de prise en charge en psychomotricité, notamment en abordant la rééducation des fonctions exécutives et des fonctions temporels sous un nouvel angle. Il serait par exemple intéressant de coupler une prise en charge des fonctions exécutives à des exercices basés sur le timing, afin d'obtenir de meilleures progressions chez les patients souffrant de ces deux déficits. Ce type de prise en charge psychomotrice pourrait être appliqué à des patients présentant un TDA/H ainsi qu'à des patients souffrant d'autres pathologies dans lesquelles on peut retrouver la présence de ses deux déficits. Comme par exemple la maladie de Parkinson ou encore le syndrome de Gilles de la Tourette.

# Bibliographie

---

- Addyman, C., Rocha, S., & Mareschal, D. (2014). Mapping the origins of time: Scalar errors in infant time estimation. *Developmental Psychology, 50*(8), 2030-2035.
- Albaret, J., Giromini, F., & Scialom, P. (2018). *Manuel d'enseignement de psychomotricité (Psychomotricité : Tome 4 - Sémiologie et nosographies psychomotrices) (French Edition)*. DE BOECK SUP.
- Alexander, G. E., DeLong, M. R., & Strick, P. L. (1986). Parallel Organization of Functionally Segregated Circuits Linking Basal Ganglia and Cortex. *Annual Review of Neuroscience, 9*(1), 357-381.
- Allman, M. J., Teki, S., Griffiths, T. D., & Meck, W. H. (2014). Properties of the Internal Clock: First- and Second-Order Principles of Subjective Time. *Annual Review of Psychology, 65*(1), 743-771.
- Baddeley, A. (1996). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 93*(24), 13468-13472.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders, 36*(3), 189-208.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation, 47-89*.
- Bales, J. W., Wagner, A. K., Kline, A. E., & Dixon, C. E. (2009). Persistent cognitive dysfunction after traumatic brain injury: A dopamine hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33*(7), 981-1003.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*(1), 65-94.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review, 4*(2), 184-197.
- Brannon, E. M., Roussel, L. W., Meck, W. H., & Woldorff, M. (2004). Timing in the baby brain. *Cognitive Brain Research, 21*(2), 227-233.
- Brown, S. W., & Perreault, S. T. (2017). Relation between temporal perception and inhibitory control in the Go/No-Go task. *Acta Psychologica, 173*, 87-93.

- Brown, T. E. (2006). Executive Functions and Attention Deficit Hyperactivity Disorder: Implications of two conflicting views. *International Journal of Disability, Development and Education*, 53(1), 35-46.
- Casini, L., & Ivry, R. B. (1999). Effects of divided attention on temporal processing in patients with lesions of the cerebellum or frontal lobe. *Neuropsychology*, 13(1), 10-21.
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder : the search for endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 617-628.
- Chudasama, Y., & Robbins, T. (2006). Functions of frontostriatal systems in cognition : Comparative neuropsychopharmacological studies in rats, monkeys and humans. *Biological Psychology*, 73(1), 19-38.
- Coghill, D. R., Seth, S., & Matthews, K. (2013). A comprehensive assessment of memory, delay aversion, timing, inhibition, decision making and variability in attention deficit hyperactivity disorder : advancing beyond the three-pathway models. *Psychological Medicine*, 44(9), 1989-2001.
- Coull, J. T. (2004). fMRI studies of temporal attention : allocating attention within, or towards, time. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 216-226.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2010). Neuroanatomical and Neurochemical Substrates of Timing. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 3-25.
- Coull, J. T., Hwang, H. J., Leyton, M., & Dagher, A. (2012). Dopamine Precursor Depletion Impairs Timing in Healthy Volunteers by Attenuating Activity in Putamen and Supplementary Motor Area. *Journal of Neuroscience*, 32(47), 16704-16715.
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (2008). Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current Opinion in Neurobiology*, 18(2), 137-144.
- Crone, E. A. (2009). Executive functions in adolescence : inferences from brain and behavior. *Developmental science*, 12(6), 825-830.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A., & Damasio, A. (1994). The return of Phineas Gage : clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264(5162), 1102-1105.
- de Hevia, M. D., Izard, V., Coubart, A., Spelke, E. S., & Streri, A. (2014). Representations of space, time, and number in neonates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(13), 4809-4813.
- Delavenne, A., Gratier, M., & Devouche, E. (2013). Expressive timing in infant-directed singing between 3 and 6 months. *Infant Behavior and Development*, 36(1), 1-13.
- Dennis, M. (2006). Prefrontal cortex : Typical and atypical development. *The frontal lobes : Development, function and pathology*, 128-162.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood :

- Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. *Principles of frontal lobe function*, 466-503.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168.
- Droit-Volet, S. (2000). L'estimation du temps : perspective développementale. *L'année psychologique*, 100(3), 443-464.
- Droit-Volet, S. (2016). Development of time. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 102-109.
- Droit-Volet, S., & Wearden, J. (2003). Les modèles d'horloge interne en psychologie du temps. *L'année psychologique*, 103(4), 617-654.
- Droit-Volet, S., Wearden, J. H., & Zélanti, P. S. (2015). Cognitive abilities required in time judgment depending on the temporal tasks used : A comparison of children and adults. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(11), 2216-2242.
- Droit-Volet, S., & Zélanti, P. S. (2013). Development of Time Sensitivity and Information Processing Speed. *PLoS ONE*, 8(8), e71424.
- Eslinger, P. J., & Grattan, L. M. (1993). Frontal lobe and frontal-striatal substrates for different forms of human cognitive flexibility. *Neuropsychologia*, 31(1), 17-28.
- Fontes, R., Ribeiro, J., Gupta, D. S., Machado, D., Lopes-Júnior, F., Magalhães, F., Bastos, V. H., Rocha, K., Marinho, V., Lima, G., Velasques, B., Ribeiro, P., Orsini, M., Pessoa, B., Araujo Leite, M. A., & Teixeira, S. (2016). Time perception mechanisms at central nervous system. *Neurology International*, 8(1), 14-22.
- Fuster, J. M. (1991). Chapter 10 The prefrontal cortex and its relation to behavior. *Progress in Brain Research*, 201-211.
- Fuster, J. M. (2000). Executive frontal functions. *Experimental Brain Research*, 133(1), 66-70.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers : A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar Timing in Memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1 Timing and Ti), 52-77.
- Gooch, C. M., Wiener, M., Wencil, E. B., & Coslett, H. B. (2010). Interval timing disruptions in subjects with cerebellar lesions. *Neuropsychologia*, 48(4), 1022-1031.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception : A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 561-582.
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition. *Interference and Inhibition in Cognition*, 175-204.
- Harrington, D. L. (2003). Does the representation of time depend on the cerebellum ? : Effect of cerebellar stroke. *Brain*, 127(3), 561-574.

- Hasher, L., Zacks, R. T., & Rahhal, T. A. (1999). Timing, Instructions, and Inhibitory Control : Some Missing Factors in the Age and Memory Debate. *Gerontology, 45*(6), 355-357.
- Jasinska, A. J. (2013). Automatic inhibition and habitual control : alternative views in neuroscience research on response inhibition and inhibitory control. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 7*, 7-25.
- Jones, C. R., Malone, T. J., Dirnberger, G., Edwards, M., & Jahanshahi, M. (2008). Basal ganglia, dopamine and temporal processing : Performance on three timing tasks on and off medication in Parkinson's disease. *Brain and Cognition, 68*(1), 30-41.
- Koch, G., Oliveri, M., Torriero, S., & Caltagirone, C. (2003). Underestimation of time perception after repetitive transcranial magnetic stimulation. *Neurology, 60*(11), 1844-1846.
- Koch, G., Oliveri, M., Torriero, S., Salerno, S., Gerfo, E. L., & Caltagirone, C. (2006). Repetitive TMS of cerebellum interferes with millisecond time processing. *Experimental Brain Research, 179*(2), 291-299.
- Lewis, P., & Miall, R. (2003). Brain activation patterns during measurement of sub- and suprasecond intervals. *Neuropsychologia, 41*(12), 1583-1592.
- Luria, A. (1973). The frontal lobes and the regulation of behavior. *Psychophysiology of the Frontal Lobes*, 3-26.
- Macar, F., Coull, J., & Vidal, F. (2006). The supplementary motor area in motor and perceptual time processing : fMRI studies. *Cognitive Processing, 7*(2), 89-94.
- Mangels, J. A., Ivry, R. B., & Shimizu, N. (1998). Dissociable contributions of the prefrontal and neocerebellar cortex to time perception. *Cognitive Brain Research, 7*(1), 15-39.
- McDonald, B. C., Flashman, L. A., & Saykin, A. J. (2002). Executive dysfunction following traumatic brain injury : Neural substrates and treatment strategies. *NeuroRehabilitation, 17*(4), 333-344.
- McFarland, C. P., & Glisky, E. L. (2009). Frontal lobe involvement in a task of time-based prospective memory. *Neuropsychologia, 47*(7), 1660-1669.
- Metcalfe, J., & Mischel, W. (1999). A hot/cool-system analysis of delay of gratification : Dynamics of willpower. *Psychological Review, 106*(1), 3-19.
- Mioni, G., Mattalia, G., & Stablum, F. (2013). Time perception in severe traumatic brain injury patients : A study comparing different methodologies. *Brain and Cognition, 81*(3), 305-312.
- Monette, S., & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne, 49*(4), 323-341.
- 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.

- Ogden, R. S., MacKenzie-Phelan, R., Montgomery, C., Fisk, J. E., & Wearden, J. H. (2018). Executive processes and timing : Comparing timing with and without reference memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *72*(3), 377-388.
- Ogden, R. S., Wearden, J. H., & Montgomery, C. (2014). The differential contribution of executive functions to temporal generalisation, reproduction and verbal estimation. *Acta Psychologica*, *152*, 84-94.
- Ozga, J. E., Povroznik, J. M., Engler-Chiurazzi, E. B., & Haar, C. V. (2018). Executive (dys)function after traumatic brain injury : special considerations for behavioral pharmacology. *Behavioural Pharmacology*, *29*(7), 617-637.
- Pire, M., & Van Broeck, N. (2012). Zoom sur les déficits neuropsychologiques du TDA/H : d'une perspective globale à une perspective spécifique. *L'Année psychologique*, *112*(01), 145-172.
- Polanczyk, G., de Lima, M. S., Horta, B. L., Biederman, J., & Rohde, L. A. (2007). The Worldwide Prevalence of ADHD : A Systematic Review and Meta-regression Analysis. *American Journal of Psychiatry*, *164*(6), 942-948.
- Puyjarinet, F., Bégel, V., & Della Bella, S. (2017). Déficits temporels et rythmiques dans le TDA/H. *Les Entretiens de Psychomotricité*, 12-18.
- Puyjarinet, F., Bégel, V., Lopez, R., Dellacherie, D., & Dalla Bella, S. (2017). Children and adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder cannot move to the beat. *Scientific Reports*, *7*(1), 1-11.
- Puyjarinet, F., Jeannin-Fuzier, A., Blain, C., Fournier, C., & Metivier, M. (2020). Psychomotricité et trouble du déficit de l'attention/hyperactivité : évaluation d'un programme de rééducation basé sur des mises en situation rythmique. *Neuropsychiatrie de l'Enfance et de l'Adolescence*, *68*(1), 22-28.
- Rattat, A.-C., & Droit-Volet, S. (2007). Implicit long-term memory for duration in young children. *European Journal of Cognitive Psychology*, *19*(2), 271-285.
- Repp, B. H., & Su, Y. H. (2013a). Sensorimotor synchronization : A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(3), 403-452.
- Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013b). Sensorimotor synchronization : A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(3), 403-452.
- Reynolds, B., & Schiffbauer, R. (2004). Measuring state changes in human delay discounting : an experiential discounting task. *Behavioural Processes*, *67*(3), 343-356.
- Rommelse, N. N. J., Altink, M. E., Oosterlaan, J., Beem, L., Buschgens, C. J. M., Buitelaar, J., & Sergeant, J. A. (2007). Speed, Variability, and Timing of Motor Output in ADHD : Which Measures are Useful for Endophenotypic Research ? *Behavior Genetics*, *38*(2), 121-132.
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : état des lieux et éléments de prospective. *Revue de neuropsychologie*, *7*(4), 245.

- Schachar, R., Mota, V. L., Logan, G. D., Tannock, R., & Klim, P. (2000). Confirmation of an inhibitory control deficit in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28(3), 227-235.
- Schirmer, A., Meck, W. H., & Penney, T. B. (2016). The Socio-Temporal Brain : Connecting People in Time. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(10), 760-772.
- Seron, X., Van der Linden, M., & Andrès Benito, P. (1999). Le lobe frontal : à la recherche de ses spécificités fonctionnelles. *Neuropsychologie des lobes frontaux*, 33-88.
- Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., & Stemmer, P. J. (2001). Effect of Interactive Metronome(R) Training on Children With ADHD. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.
- Simon, V., Czobor, P., Bálint, S., Mészáros, G., & Bitter, I. (2009). Prevalence and correlates of adult attention-deficit hyperactivity disorder : meta-analysis. *British Journal of Psychiatry*, 194(3), 204-211.
- Sjöwall, D., Roth, L., Lindqvist, S., & Thorell, L. B. (2012). Multiple deficits in ADHD : executive dysfunction, delay aversion, reaction time variability, and emotional deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(6), 619-627.
- 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.
- 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. 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.
- 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.
- Vicario, C. M. (2013). Cognitively controlled timing and executive functions develop in parallel ? A glimpse on childhood research. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 1-4.
- Vicario, C. M., Martino, D., Spata, F., Defazio, G., Giacchè, R., Martino, V., Rappo, G., Pepi, A. M., Silvestri, P. R., & Cardona, F. (2010). Time processing in children with Tourette's syndrome. *Brain and Cognition*, 73(1), 28-34.
- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory : *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255-274.
- Watanabe, T., Saito, K., Ishida, K., Tanabe, S., Horiba, M., Itamoto, S., Ueki, Y., Wada, I., & Nojima, I. (2018). Effect of auditory stimulus on executive function and execution time during cognitively demanding stepping task in patients with Parkinson's disease. *Neuroscience Letters*, 674, 101-105.

Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). Implicit timing activates the left inferior parietal cortex. *Neuropsychologia*, 48(13), 3967-3971.

Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the Executive Function Theory of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder : A Meta-Analytic Review. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1336-1346.

Zakay, D. (2005). Attention et jugement temporel. *Psychologie Française*, 50(1), 65-79.

## **Résumé :**

Le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est une pathologie neurodéveloppementale caractérisée par une triade symptomatique : inattention, hyperactivité et impulsivité. A cette triade symptomatique s'ajoute fréquemment d'autres symptômes comme des difficultés de gestion des processus temporels, ainsi que des déficits dans les fonctions exécutives. Plusieurs études scientifiques au cours de ces dernières années ont permis de mettre en lumière plusieurs corrélations entre les fonctions temporelles et les fonctions exécutives, mais la possibilité de l'existence d'un lien réel entre ces deux fonctions reste encore aujourd'hui au stade d'hypothèse. Dans l'étude de cas présentée dans ce mémoire, une rééducation spécifique est proposée à un jeune garçon TDA/H, afin de déterminer s'il est possible d'améliorer ses capacités de fonction exécutives en passant uniquement par la rééducation de ses processus temporels. Pour cela, des activités uniquement centrées sur du timing moteur et sur du timing perceptif vont lui être proposées : suivi de tempo, reproduction de rythme, estimation de durée, prédiction de durée...

**Mots clés :** Processus temporels, Fonctions exécutives, TDA/H, Perception temporelle, Capacités rythmiques, Inhibition, Mémoire de travail, Flexibilité cognitive

## **Abstract:**

Attention Deficit Disorder with or without Hyperactivity (ADD/ADHD) is a neurodevelopmental pathology characterized by a symptomatic triad: inattention, hyperactivity and impulsivity. This triad of symptoms is frequently supplemented by other symptoms such as difficulties in managing temporal processes, as well as deficits in executive functions. Several scientific studies in recent years have highlighted several correlations between temporal and executive functions, but the possibility of the existence of a real link between these two functions is still at the hypothesis stage. In the case study presented in this dissertation, a specific rehabilitation is proposed to a young ADD/ADHD boy, in order to determine if it is possible to improve his executive function capacities by only rehabilitating his temporal processes. For this purpose, activities only focused on motor timing and perceptual timing will be proposed to him: tempo tracking, rhythm reproduction, duration estimation, duration prediction...

Key words: Temporal processes, Executive functions, ADD/ADHD, Temporal perception, Rhythmic abilities, Inhibition, Working memory, Cognitive flexibility