



FACULTÉ DE MÉDECINE TOULOUSE RANGUEIL

Institut de Formation en Psychomotricité

Le timing dans le Trouble Déficit de l'Attention / Hyperactivité (TDA/H)

Etude de faisabilité d'une évaluation des fonctions temporelles chez deux enfants TDA/H selon le modèle de Coull & Nobre (2008)

Mémoire en vue de l'obtention du
Diplôme d'Etat de Psychomotricienne

Emilie DUROSOIR

Septembre 2016

Sommaire

Introduction	5
Partie théorique	7
1. Le timing	7
1.1. Le timing : un outil de perception, de compréhension et d’action.....	7
1.2. Une distinction fonctionnelle et neuro-anatomique du timing.....	8
1.2.1. Une distinction fonctionnelle du timing explicite et implicite.....	9
1.2.2. Une distinction neuro-anatomique du timing explicite et implicite...14	
2. Le timing dans le TDA/H	18
2.1. Le timing : un marqueur neuropsychologique du TDA/H.....	19
2.2. Un déficit du timing explicite et implicite chez l’enfant TDA/H.....	21
2.2.1. Un déficit du timing explicite chez l’enfant avec TDA/H.....	21
2.2.2. Un déficit du timing implicite chez l’enfant avec TDA/H.....	23
Partie pratique	26
1. Méthode	25
1.1. Participants.....	26
1.2. Pré – tests.....	27
1.3. Matériel.....	29
1.4. Procédure mise en place chez les sujets TDA/H et contrôles.....	29
1.4.1. Tâche de timing explicite.....	30
1.4.1.1. Tâche de reproduction de durée.....	30
1.4.1.2. Tâche de discrimination temporelle.....	31
1.4.1.3. Tâche de synchronisation motrice.....	32
1.4.2. Tâche de timing implicite.....	33
1.4.2.1. Tâche de trajectoire spatio-temporelle.....	33
1.4.2.2. Tâche de prédiction indicée.....	34
1.4.2.3. Tâche de prédiction sérielle.....	35
1.5. Analyse des variables	36
2. Résultats de l’étude – Analyse qualitative de l’étude de faisabilité d’une évaluation du timing chez deux enfants TDA/H	37
2.1. Résultats des tâches de timing explicite.....	38

2.2. Résultats des tâches de timing implicite.....	44
3. Discussion.....	48
Conclusion et perspectives.....	53
Bibliographie.....	56
Annexe.....	62

Introduction

Le Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est le trouble neuro-développemental le plus fréquemment rencontré chez l'enfant, avec une prévalence de 3,5% en France (HAS, 2014). Il est principalement identifié par la triade symptomatologique suivante (DSM 5, annexe 1) : impulsivité, inattention et hyperactivité. Plusieurs concepts explicatifs du trouble ont vu le jour, parmi lesquels l'hypothèse d'un déficit des fonctions exécutives (Barkley, 1997) est relativement confirmée dans la littérature scientifique ; c'est-à-dire un déficit des activités mentales autodirigées afin de générer des comportements orientés vers un but et de s'autoréguler (Soppelsa, 2006). Depuis quelques années, la question de la temporalité s'impose comme un marqueur neuropsychologique du TDA/H (De Zeeuw, 2012), offrant de nombreuses possibilités d'exploration au niveau neurobiologique, neurocognitif, génétique, clinique, etc.

La création d'un outil d'évaluation des fonctions temporelles semble donc être un élément indispensable afin d'aller plus loin à la fois dans l'évaluation et la prise en charge du TDA/H, mais aussi dans sa compréhension, dans le dépistage et le diagnostic. Au vu des connaissances actuelles, il ne semble pas exister d'outil d'évaluation des fonctions temporelles, aussi appelées timing, chez l'enfant. De plus, la question du timing, qui fait référence à notre capacité à percevoir et à estimer des intervalles de temps, englobe de nombreuses taxonomies et théories.

Nous nous sommes donc posé la question suivante : Sur quel cadre théorique faudrait-il s'appuyer si nous voulions construire un outil d'évaluation spécifique aux fonctions temporelles chez l'enfant ? Une équipe du laboratoire de neuroscience cognitive à Marseille (Coull & Nobre, 2008) propose une taxonomie du timing, dans laquelle elle classe en deux catégories les données de la littérature sur le sujet : Elle oppose le timing explicite, qui est évalué par des tâches au cours desquelles l'objectif est explicitement de juger le temps, comme par exemple estimer une durée, et le timing implicite, évalué par des tâches au cours desquelles l'objectif est d'augmenter la performance d'une réponse comportementale en utilisant implicitement les informations temporelles, comme par exemple intercepter une balle. L'intérêt de cette

classification repose sur la distinction à la fois fonctionnelle et neuro-anatomique qui peut être faite entre ces deux timing. Ainsi, l'application du modèle de Coull (2008) représente la possibilité d'une évaluation complète des processus temporels chez des populations avec et sans troubles, dont le TDA/H.

Ce mémoire a donc pour objectif de réaliser une étude préalable à la construction d'un outil d'évaluation des fonctions temporelles chez l'enfant avec TDA/H, en s'appuyant sur la classification de Coull & Nobre (2008).

Pour cela, nous commencerons par définir le timing explicite et implicite selon la distinction fonctionnelle et neuro-anatomique des travaux de Coull & Nobre (2008), pour ensuite identifier les composantes déficitaires et préservées du timing dans le TDA/H trouvées dans la littérature. Nous proposons d'organiser les résultats des travaux sur le TDA/H selon la classification du timing de Coull (2008).

Dans la partie expérimentale, nous décrirons le protocole de l'étude de faisabilité d'une évaluation du timing chez deux enfants TDA/H : les 6 tâches expérimentales inspirées du modèle de Coull seront proposées à un groupe de 7 enfants témoins et deux enfants TDA/H, Clara et Julien. L'analyse qualitative des résultats obtenus nous informera sur (1) la faisabilité d'une telle évaluation chez des enfants avec TDA/H et (2) les possibles déficits spécifiquement présentés chez ces enfants. La double perspective est à la fois théorique, comprendre quelles sont les composantes déficitaires ou préservées chez ces enfants, et appliquée, création future d'un outil d'évaluation du timing dans le TDA/H.



Partie théorique

1. Le timing

Le timing fait référence à notre capacité à percevoir et estimer des intervalles de temps, à utiliser les données temporelles pour adapter nos comportements et/ou envisager les événements à venir afin de prendre des décisions dans le présent (Noreika, 2013). En psychomotricité, un certain nombre de pathologies sont en lien avec un déficit du timing impactant à différents niveaux l'adaptation du sujet. C'est le cas de l'autisme, de la maladie de Parkinson, de la schizophrénie et du TDA/H (Allman, 2012). Il semble donc intéressant d'appréhender la question des fonctions temporelles afin d'avoir par la suite une meilleure compréhension de leur implication dans les troubles en question.

1.1. Le timing : un outil de perception, de compréhension et d'action

Avant même la naissance, nous sommes confrontés à une grande variété de stimulations toutes riches en structures temporelles (battement du cœur maternel, etc.). Tout au long de notre vie nous continuons l'intégration progressive de ces informations omniprésentes, que l'on trouve par exemple dans la rythmicité du langage, dans les rythmes veille-sommeil et même dans l'action. Les nouveaux nés sont capables très tôt d'apprendre des durées et des intervalles de temps associés à des événements (Droit Volet, 2013). Puis en grandissant la sensibilité au temps évolue et le jugement temporel se fait alors de plus en plus précis, quelle que soit la durée (Droit Volet, 2013). Ce sont les expériences sensori-motrices et relationnelles vécues, ainsi que la maturation de certaines fonctions neuropsychologiques liées au timing, qui permettent d'enrichir l'intégration des données temporelles tout au long du développement (Zélanti, 2013 ; Droit-Volet, 2013). Notamment, la maturation des fonctions attentionnelles et de la mémoire de travail semble jouer un rôle important dans la précision des processus temporels (Block, Hancock, & Zakay, 2010 ; Nobre & Coull, 2011 ; Rubia & Smith, 2004, dans Droit-Volet, 2013). L'attention au temps est cruciale pour estimer des durées ou ajuster ses réponses motrices, tandis que la mémoire de travail est nécessaire afin de maintenir les informations temporelles en mémoire durant leur utilisation.

L'appréhension des structures temporelles qui nous entourent est primordiale car elle représente un outil insoupçonné de compréhension du monde, indispensable à l'adaptation, à la socialisation et à la communication verbale et non verbale (Droit Volet, 2013). Le timing est en effet associé à diverses fonctions, telles que la parole (Standford, Barrat, 1996, dans Noreika, 2013), la planification (Teuscher, 2011, dans Noreika, 2013), la motricité générale et fine (Bartscherer, 2005 dans Noreika, 2013) et l'intelligence émotionnelle (Stolarski, 2011, dans Noreika, 2013). Ainsi, dans une tâche motrice d'interception d'un objet qui chute par exemple, l'enfant doit pouvoir transporter sa main au bon endroit et au bon moment afin d'intercepter l'objet de la manière la plus adaptée possible. Pour cela, l'enfant va soit ajuster la main en fonction de la vitesse, soit anticiper l'endroit où sera l'objet à un moment donné et transporter sa main directement à cet endroit. Dans les deux cas, la perception de l'information temporelle contenue dans le déplacement de l'objet est nécessaire à l'adaptation de la réponse motrice de l'enfant. Des études en neuro imagerie appuient ce lien étroit entre le timing et l'action en montrant que la perception du temps et l'action motrice ont des bases fondamentales communes, notamment par le recrutement de l'aire motrice supplémentaire (Puyjarinet, 2011 ; Coull, 2008).

Ainsi, la fonction temporelle comme d'autres fonctions telle que l'attention, représente un moyen de perception et de compréhension de l'environnement, dans le but de réaliser des actions orientées vers un but (Puyjarinet, 2011). A ce jour, aucun système spécifique ou récepteur sensoriel n'a été reconnu comme permettant d'expliquer notre sens du temps (Droit Volet, 2005). Les études suggèrent que notre cerveau traite le timing en utilisant plusieurs systèmes neuro-anatomiques et fonctionnels distincts, cependant leur complexité laisse encore de nombreuses questions en suspens.

1.2. Une distinction fonctionnelle et neuro-anatomique du timing

Le modèle de Coull et Nobre (2008) tente de clarifier les données de la littérature sur le timing, en proposant une taxonomie des fonctions temporelles qui s'appuie sur une distinction fonctionnelle et neuro-anatomique.

1.2.1. Une distinction fonctionnelle du timing explicite et implicite

Selon le modèle de Coull et Nobre (2008), les timing explicite et implicite se définissent en fonction de la nature temporelle de la tâche. Ainsi, lorsque l'objectif de la tâche consiste à juger explicitement le temps, comme par exemple estimer une durée, on parle de timing explicite. On parle de timing implicite lorsque l'objectif de la tâche est d'augmenter la performance d'une réponse comportementale en utilisant implicitement les informations temporelles, pour réaliser un but sensori-moteur comme par exemple intercepter une balle. Les deux timing peuvent être conduits dans le domaine moteur et perceptif, c'est-à-dire qu'ils peuvent s'inscrire dans une action ou dans une perception, permettant de définir 4 facettes du timing : le timing moteur, le timing perceptif, le timing émergent et la prédiction temporelle (Figure 1).

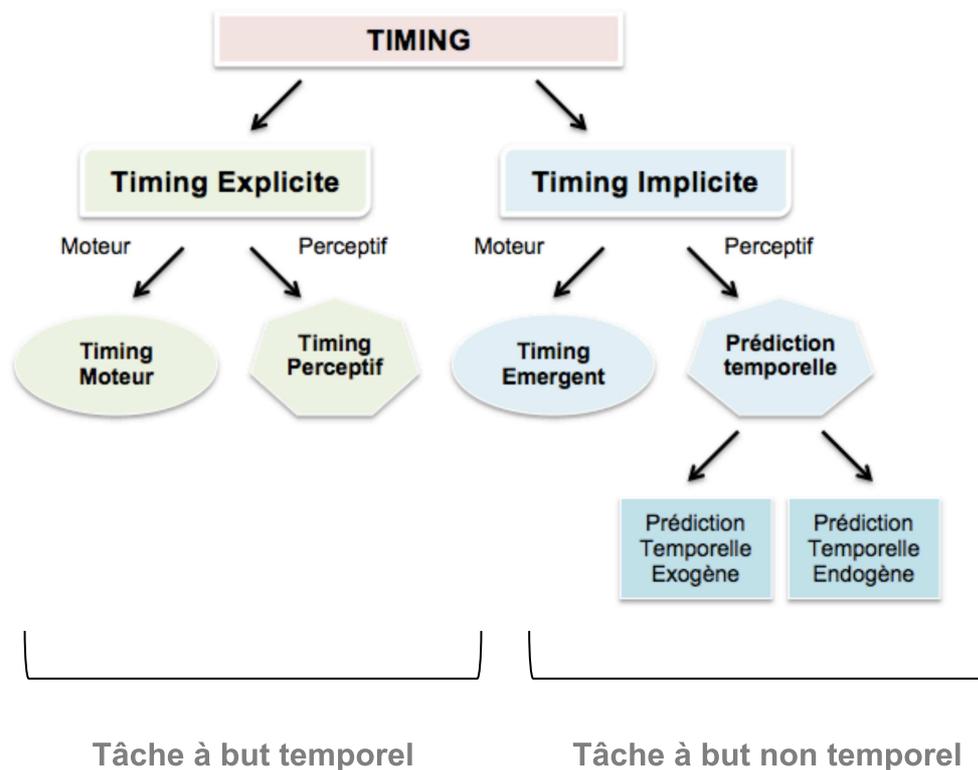


Figure 1 : Taxonomie fonctionnelle des processus de la perception temporelle (traduit de Coull, Nobre, 2008)

➤ Le timing explicite

Le jugement explicite du temps par l'estimation d'une durée ou d'un intervalle de temps peut s'exprimer au travers d'une production motrice (timing moteur) ou d'une discrimination perceptive (timing perceptif) (Figure 2).

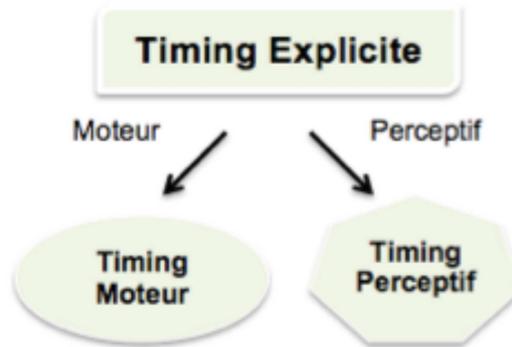


Figure 2 : Le timing explicite

Le timing moteur

Le timing moteur se définit par la capacité à exprimer une durée ou un intervalle de temps par une production motrice. Par exemple le timing moteur est engagé lorsque vous dansez. En effet, la production de pas de danse en synchronisation avec la musique, représente la capacité à exprimer par une production motrice les intervalles de temps qui composent la musique ! Au niveau expérimental, le timing moteur est évalué par des tâches de reproduction de durée et de synchronisation - continuation motrice. Lors des tâches de reproduction de durée, le sujet reproduit une durée en maintenant son doigt appuyé sur une touche durant un temps égal à celui de la durée du stimulus présenté. Lors des tâches de synchronisation - continuation motrice, le sujet doit synchroniser sa frappe avec l'apparition d'un stimulus (phase de synchronisation), puis continuer la frappe une fois le stimulus disparu (phase de continuation). Cette dernière tâche permet d'avoir une mesure de la perception puis de la mémorisation du timing. Dans les deux cas, le sujet représente une durée ou un intervalle de temps par une action motrice.

Le timing perceptif

Le timing perceptif est engagé dans l'estimation délibérée d'une durée ou d'un intervalle entre deux événements. C'est le cas lorsque vous estimez le temps qu'il vous faut pour réaliser une activité. Au niveau expérimental, le timing perceptif est évalué par des tâches de discrimination temporelle au cours desquelles le sujet compare deux durées et estime si la durée du deuxième stimulus est plus longue ou plus courte que la durée du premier stimulus.

➤ **Le timing implicite**

Le timing implicite est engagé à chaque fois qu'une information sensori-motrice est temporellement structurée et peut être utilisée afin de prédire la survenue d'un événement ou d'une action motrice (Coull et Nobre, 2008). Ainsi, toute structure temporelle inhérente à la présentation d'un stimulus perceptif ou à une action motrice, engagera le timing implicite (Figure 3) sous la forme d'une prédiction temporelle ou du timing émergent. Les tâches permettant une évaluation du timing implicite ne font pas intervenir de consignes d'évaluation du temps.

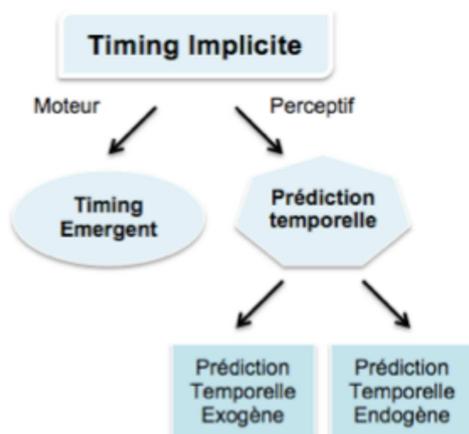


Figure 3 : Le timing implicite

Le timing émergent

Le timing émergent provient de la régularité temporelle d'une action motrice et il est considéré comme étant un élément propre au processus du contrôle moteur (Zelaznik,

2002, dans Coull, Nobre, 2008). On l'observe écologiquement dans des activités quotidiennes telle que la marche (Delevoy-Turrelle, 2014). Dans un contexte expérimental, on peut l'évaluer par le tempo moteur spontané, c'est-à-dire, le rythme naturel préféré de chacun.

La prédiction temporelle exogène et endogène

La prédiction temporelle est engagée lorsque l'on anticipe l'arrivée d'un événement. Les informations temporelles sont alors mises à profit afin d'optimiser la performance motrice ou perceptive. La réponse est plus précise (Barnes, 2000 ; Correa, 2005, dans Coull, Nobre, 2008) et plus rapide (Praamstra, 2006, dans Coull, Nobre, 2008) lorsque l'arrivée du stimulus peut être prévue, c'est-à-dire, lorsqu'il répond à un pattern temporel régulier.

Une distinction doit être faite entre la prédiction temporelle exogène et endogène. La prédiction temporelle exogène est établie à partir de la prédictibilité temporelle de la dynamique du stimulus lui-même. Par exemple lorsque l'on intercepte un ballon, l'information temporelle contenue dans le déplacement du ballon va permettre d'établir une prédiction temporelle afin d'optimiser l'action d'attraper. On l'évalue par des tâches de jugement de collision (trajectoire spatio temporelle), au cours desquelles il faut anticiper le moment de collision d'un stimulus à partir de sa vitesse de déplacement.

La prédiction temporelle endogène est basée sur la comparaison entre un intervalle de temps actuel et un intervalle de temps mémorisé. Elle est établie volontairement, à partir d'informations temporelles pré repérées par le sujet, dans le but d'optimiser la performance. Par exemple, lorsqu'un compte à rebours est mis en place avant le départ d'une course, les coureurs peuvent anticiper le moment de départ en fonction des intervalles de temps repérés entre les bips précédents le coup de feu final et ainsi optimiser l'impulsion. La prédiction temporelle endogène est évaluée à partir de tâches de prédiction indicée et sérielle que nous décrivons dans la partie pratique. Dans les deux cas, l'intérêt de la prédiction temporelle est d'optimiser la réponse comportementale.

Le tableau 1 résume les caractéristiques du timing implicite et explicite.

Tableau 1 : Distinction fonctionnelle entre le timing explicite et le timing implicite

	TIMING EXPLICITE		TIMING IMPLICITE		
	Timing moteur	Timing perceptif	Timing émergent	Prédiction temporelle	
				Exogène	Endogène
Définition	Capacité à estimer une durée ou un intervalle de temps par une action motrice	Capacité à estimer une durée ou un intervalle de temps par une action perceptive	Régularité temporelle retrouvée dans l'action, le mouvement.	Anticiper à partir de la dynamique du stimulus lui-même, sans que cela soit explicite	Anticiper volontairement, à partir d'informations pré-repérées
Objectif	Réaliser une action à but temporel, c'est-à-dire qui requiert explicitement une évaluation précise du temps		Optimiser la réponse comportementale d'une action pouvant être motrice ou perceptive, à partir d'une utilisation non formelle des informations temporelles issues de l'environnement		
Exemple	Réaliser des pas de danse, l'objectif étant de se synchroniser avec la musique	Estimer le temps qu'il faut pour réaliser une activité	Marcher, dessiner un cercle de façon continue	Attraper un ballon au vol	Démarrer son action à la fin du compte à rebours
Tâches dans le cadre d'une évaluation des différents aspects du timing	Tâche à but temporel		Tâche à but non temporel		
	Reproduction de durée et synchronisation motrice (= reproduction d'intervalle de temps)	Discrimination temporelle	Tempo moteur spontané	Trajectoire spatio-temporelle	Prédiction indicée et prédiction sérielle

1.2.2. Une distinction neuro-anatomique du timing explicite et implicite

On note depuis une dizaine d'années un intérêt grandissant concernant les bases neuro-anatomiques qui sous-tendent les différents processus temporels. Les études en neuro-imagerie ont mis en évidence un réseau d'activation étendu faisant intervenir différentes structures corticales (cortex pré-frontal, cortex pariétal et cortex temporal supérieur) et sous-corticales (ganglions de base, cervelet) (Coull & Nobre, 2008). L'étendue de ces réseaux d'activation semble refléter la difficulté à isoler la fonction temporelle des autres fonctions cognitives. Il semble notamment qu'aucune aire cérébrale spécifique soit spécialisée dans le traitement de l'information temporelle. En effet, une caractéristique du timing réside dans le fait que les processus neuro-anatomiques engagés dans le traitement de l'information temporelle diffèrent selon le contexte et la nature temporelle de la tâche (Coull, 2015).

➤ Le timing explicite

L'estimation de durées d'une centaine de millisecondes à plusieurs secondes est un processus dynamique dépendant d'un grand nombre de fonctions cognitives, notamment la mémoire de travail et l'attention qui compliquent la recherche sur le sujet (Ogden, Wearden & Montgomery, 2014 ; Brown, Collier & Night, 2013 ; Zélandi et Droit Volet, 2011 ; Brown, 2008 dans Coull, 2015). Afin de pallier à cette difficulté, des auteurs ont comparé des tâches de timing avec des tâches contrôles qui requièrent la même demande cognitive (Coull, 2015). Ces études ont révélé que l'aire motrice supplémentaire, le cortex frontal inférieur droit (Wiener et al., 2010 cité dans Coull, 2015) et les ganglions de base (Coull, 2008) ressortent comme étant trois structures neuro-anatomiques importantes dans le traitement des informations temporelles. En effet, ces régions sont impliquées à la fois dans les tâches perceptives et motrices et dans les tâches impliquant un stimulus allant de plusieurs millisecondes à plusieurs secondes. D'autres études mettent également en avant le rôle du cortex préfrontal (Coull, 2008) et des aires pré motrices (Coull, 2008), dans des tâches de timing pouvant être motrices (Koch, 2007, dans Coull, 2008) ou perceptives (Lee, 2007, dans Coull, 2008).. Le cervelet semble être plus sensible à des intervalles de temps inférieurs à 500 ms. Cependant, selon Coull (2008), il semble qu'en fonction du contexte de la tâche, la co activation des ganglions de base avec l'aire motrice supplémentaire, le cortex frontal inférieur et le cervelet soit différemment impliquée,

suggérant que leur contribution fonctionnelle diffère selon l'aspect de l'information à traiter et le contexte de la tâche (Figure 4).

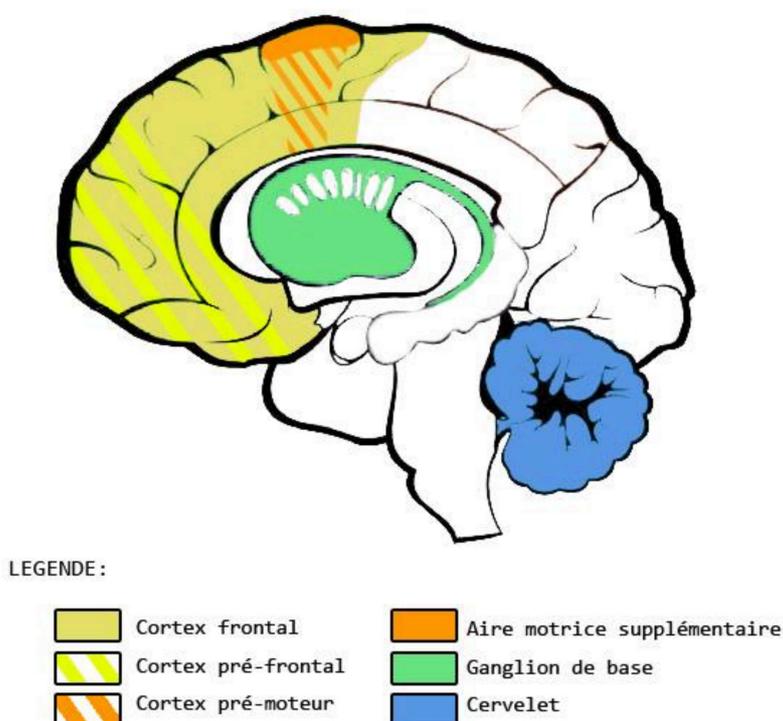


Figure 4 : Schéma simplifié des aires corticales et sous corticales impliquées le timing explicite (vue du cerveau droit)

➤ Le timing implicite

En ce qui concerne les tâches de prédiction temporelle exogène (Figure 5), on observe une modulation de l'activité au niveau des aires cérébrales habituellement associées aux circuits de l'action (cortex pariétal et pré-moteur), alors même que la tâche s'effectue uniquement via une modalité perceptive (Coull, 2008). Par exemple, lors de tâches spatio-temporelle, l'activation se situe au niveau du cortex pariétal inférieur gauche (Assmus, 2005, dans Coull, 2008), du cervelet (O'Reilly, 2008, dans Coull, 2008) et des régions sensorimotrices du cortex pré-moteur et pariétal (Field, 2005, dans Coull, 2008). On trouve les mêmes circuits d'activation pour des tâches motrices de prédiction temporelle exogène. Ces circuits d'activation (notamment l'activation du cortex pariétal inférieur gauche et du cortex pré moteur) sont également retrouvés lors de tâches de prédiction temporelle endogène, c'est-à-dire lorsque le sujet fait une utilisation volontaire de l'information temporelle afin d'optimiser sa performance, qui

peut être motrice (Coull, 2000 ; Sakai, 2002, dans Coull, 2008) ou bien perceptive (Schubotz, 2001 et 2003, dans Coull, 2008). Ces données suggèrent que la représentation des prédictions temporelles exogènes et endogènes est indépendante de la modalité (perceptive ou motrice) de la tâche (Coull, 2008) et qu'elles sont toutes deux représentées par les aires habituellement associées aux circuits de l'action, notamment par le cortex pré-moteur et pariétal inférieur. Ces observations sont cohérentes avec le fait que les aires motrices peuvent s'activer aussi bien lors de la représentation mentale de l'action que pour l'exécution de l'action en elle-même (Rizzolatti, 1998, dans Coull, 2008). Cela renforce l'idée que la prédiction temporelle a pour objectif d'optimiser la performance motrice à venir (Figure 5).

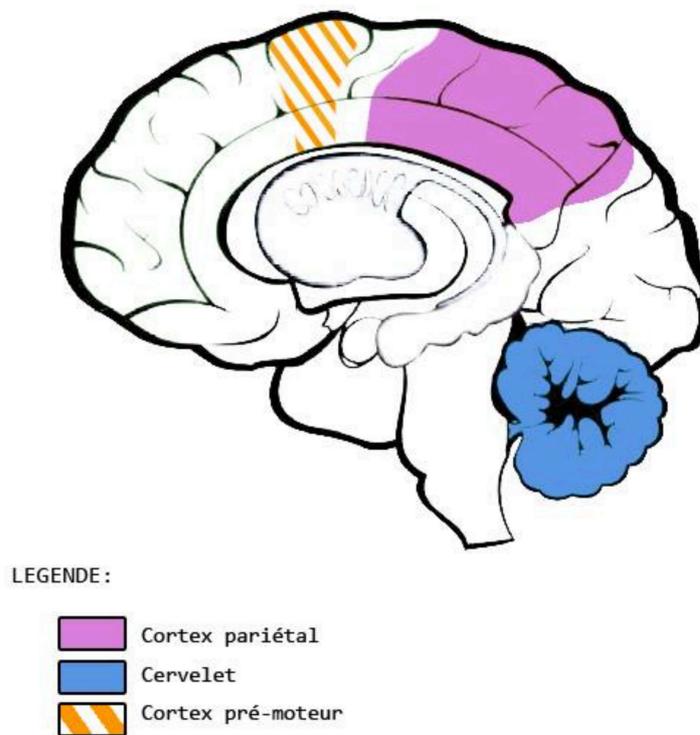


Figure 5 : Schéma simplifié des aires corticales et sous corticales impliquées dans la prédiction temporelle (vue du cerveau gauche)

Tableau 2 : Distinction neuro-anatomique entre le timing explicite et la prédiction temporelle

	Ganglion de base	Cortex Frontal < D	AMS	Cortex près moteur	Cortex Pariétal < G	Cortex Pré Frontal	Cervelet
Timing Explicite	X	X	X	X		X	X
Prédiction temporelle				X	X		X

Le cortex pré moteur et le cervelet semblent être des aires cérébrales communes au timing explicite et implicite. Les données révèlent notamment que le cervelet n'est restreint à aucun domaine de la taxonomie du timing et qu'il joue un rôle crucial dans la représentation précise des informations temporelles (Breska, 2016). Cependant, certaines tâches de timing ne font pas intervenir le cervelet : les tâches dans lesquelles le timing provient de la régularité temporelle d'une action (timing émergent), comme par exemple dessiner un cercle de façon continue (Breska, 2016).

CONCLUSION

Les processus temporels sont impliqués dans la réalisation d'une action orientée vers un but. Selon la taxonomie de Coull (2008), il existe deux processus temporels distincts, le timing explicite et le timing implicite. Le timing explicite est engagé lors de tâches requérant explicitement de juger le temps, comme par exemple estimer la durée d'une activité, tandis que le timing implicite permet d'optimiser la précision et la vitesse d'une performance en utilisant les informations temporelles de l'environnement de façon implicite, c'est-à-dire, sans être énoncé formellement. Ces deux processus sont étroitement liés à d'autres fonctions neuropsychologiques, notamment à l'attention et à la mémoire de travail. Ils sont également dépendants du contexte de la tâche.

Le timing implicite et explicite impliquent des circuits neuronaux différents mais comportant cependant certaines structures cérébrales communes. Le fait que les processus du timing puissent cependant être distingués d'un point de vue structural, suggère qu'une facette du timing puisse être altérée par la pathologie tandis qu'un autre aspect ne l'est pas.

Dans la partie suivante, nous explorerons quels sont les aspects du timing altérés et préservés chez l'enfant TDA/H. A l'heure actuelle et à notre connaissance, les études sur le TDA/H n'ont pas utilisé le modèle de Coull et Nobre (2008) pour évaluer les déficits et capacités de ces enfants. Nous tenterons donc de replacer les données des études actuelles sur le TDA/H dans le cadre de ce modèle.

2. Le timing dans le TDA/H

Le Trouble Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) est couramment défini par la triade symptomatique suivante : inattention, impulsivité et hyperactivité (DSM 5). Cependant, une des caractéristiques observables du trouble réside dans le fait qu'il comporte un grand nombre de déficits distincts et hétérogènes, rendant l'analyse clinique complexe. Depuis quelques années, les études en neuro-imagerie et en neuro-cognition sur le TDA/H, vont dans le sens d'un déficit des processus temporels et des réseaux neuronaux associés. Malgré ce que l'on peut observer cliniquement, le facteur temporel commence tout juste à être intégré aux nouvelles conceptions du trouble. A cela s'ajoute le fait qu'il n'existe actuellement aucun test permettant une évaluation précise et complète des processus temporels. Ainsi, ils ne sont encore que très peu considérés dans la compréhension des comportements observables et dans la prise en charge du trouble. Nous verrons dans cette deuxième partie que des modèles neuropsychologiques visent à identifier les mécanismes responsables du dysfonctionnement comportemental et que les avancées dans la recherche permettent de distinguer plus clairement les processus temporels déficitaires et préservés, dans le cadre du TDA/H.

2.1. Le timing : un marqueur neuropsychologique du TDA/H

L'hétérogénéité clinique du TDA/H est telle, que les efforts de recherche prônant une cause unique à l'origine de l'ensemble de la symptomatologie du trouble ont échoué. Les modèles neurobiologiques récents suggèrent au contraire que le TDA/H serait l'expression comportementale d'un ensemble de déficits au niveau de circuits neurobiologiques distincts (De Zeeuw, 2012). Ces modèles suggèrent que les systèmes neurobiologiques associés au TDA/H et qui sont distinctement identifiables au niveau du cerveau, peuvent définir des sous catégories neurobiologiques du trouble (De Zeeuw, 2012). Secondairement, cela présenterait l'avantage de faciliter la recherche dans le champ de la neurobiologie et de la génétique.

En partant de ce postulat, De Zeeuw (2012) décrit 3 sous-groupes neurobiologiques, à partir de 3 circuits neurobiologiques impliqués dans le trouble : un déficit de contrôle cognitif¹ (circuit dorso-fronto-striatal), un déficit du timing (circuit fronto-cerebelleux) et une sensibilité réduite à la récompense (circuit ventro-fronto-striatal). De Zeeuw (2012) fait passer une batterie de tests neuropsychologiques à 57 sujets TDA/H âgés de 6 à 27 ans, en comparaison de 83 sujets contrôles. Les résultats montrent que 52,6% des sujets TDA/H, soit 30 sujets, présentent un déficit dans au moins une des trois composantes énoncées. Parmi ces 30 sujets, 80% (soit 24 sujets) présentent un déficit dans une seule des trois composantes. Aucun sujet ne présente de déficit dans plus de deux composantes à la fois (Figure 6).

¹ On entend par contrôle cognitif, la capacité à inhiber une réponse inappropriée en faveur d'une autre réponse plus adaptée (Casey et al., 2005 dans Van Hulst, 2015).

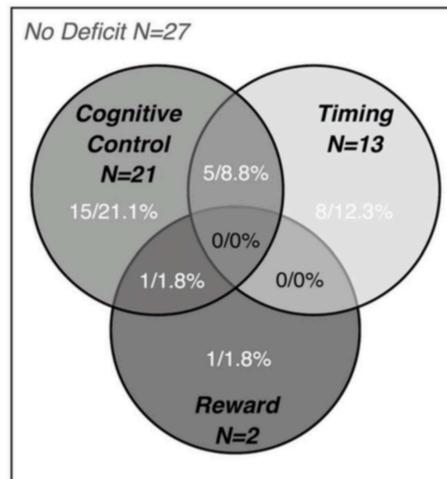


Figure 6 : Proportion d'individus TDA/H avec un défaut de contrôle cognitif, de timing et une sensibilité réduite à la récompense, ainsi que leur degré de cooccurrence, selon l'étude de De Zeeuw (2012).

De Zeeuw identifie à partir de cette étude 4 composantes cognitives distinctes, dont trois ont pu être liées aux domaines cognitifs envisagés par le modèle : un défaut de vigilance, un déficit de contrôle cognitif, un déficit du timing et une sensibilité réduite à la récompense. Il suggère que la quatrième composante, c'est-à-dire le défaut de vigilance, pourrait être en lien avec les circuits attentionnels. Les résultats obtenus dans cette étude sont similaires à ceux obtenus dans l'étude de Sonuga-Barke en 2010, qui identifie un déficit de contrôle cognitif, un déficit de timing et une aversion pour le délai qui correspond à une incapacité à attendre. Ces deux études soutiennent l'idée de sous-types neuropsychologiques distincts dans le TDA/H, en lien avec des circuits neurobiologiques déficitaires et à l'origine des comportements observables. Même si les composantes identifiées ne sont pas retrouvées chez la totalité des sujets TDA/H, elles permettent cependant de discriminer certains profils du troubles, ce qui représente un enjeu clinique majeur.

Le déficit de timing prend ainsi une place nouvelle dans les conceptions actuelles du TDA/H, en comparaison aux anciennes conceptions, qui le considéraient comme la conséquence d'un déficit dans les mémoires de travail non verbale et spatiale (Barkley, 1997, dans Soppelsa, 2006). Néanmoins, plusieurs questions persistent : Quels sont les causes de ces dysfonctionnements au niveau du cerveau et quelle part peut avoir l'environnement dans l'expression comportementale de ces dysfonctionnements ? Comment l'ensemble des dysfonctionnements retrouvés

interagissent-ils entre eux pour conduire au comportement du TDA/H ? Si la réponse à ces questions font encore l'objet d'études sur les intrications entre la génétique, le contexte environnemental, les circuits neurobiologiques, etc., le déficit du timing semble cependant faire partie des éléments de réponse systématiquement retrouvés. Actuellement, de nombreuses études nous renseignent sur les tâches de timing échouées et réussies chez des sujets TDA/H, et nous tenterons de replacer ces données dans le cadre du modèle de Coull (2008).

2.2. Le timing explicite et implicite chez l'enfant TDA/H

Les données en neuro-imagerie montrent un dysfonctionnement des circuits cérébraux en lien avec les processus du timing dans le TDA/H. Ce dysfonctionnement est retrouvé notamment au niveau des circuits fronto-striato-cerebelleux inférieur et fronto-parietaux (Noreika, 2013), corroborant les pistes actuelles qui placent le déficit du timing comme une composante importante dans le trouble. A cela s'ajoute une réduction globale du volume des ganglions de base (Frodl & Skokauskas, 2012, cité dans Bange, 2014), ainsi qu'une réduction de l'épaisseur corticale fronto-pariétale à tout âge chez les sujets TDA/H. Ces structures neuro-anatomiques jouant un rôle important dans le timing explicite et implicite, il ne serait donc pas surprenant de trouver un déficit de ces deux timing chez l'enfant avec un TDA/H. Nous tenterons donc de replacer les données des études actuelles sur le TDA/H et les processus temporels, dans le cadre du modèle de Coull (2008).

2.2.1. Un déficit du timing explicite chez l'enfant avec TDA/H

Les déficits de timing explicite les plus importants sont retrouvés dans des tâches de discrimination de durée, de synchronisation sensori motrice et de reproduction de durée (Noreika, 2013).

Tâches de discrimination de durée

Les tâches de discrimination de durée sont considérées comme étant la mesure la plus sensible permettant de différencier les enfants TDA/H des enfants contrôles, et ce, parmi d'autres fonctions cognitives en lien avec le TDA/H, telles que l'attention soutenue et l'inhibition motrice (Rubia, 2007, dans Noreika, 2013). Lors des tâches de

discrimination de durées, on observe que les enfants TDA/H ont un seuil de discrimination plus élevé, la différence de temps entre deux durées doit donc être plus grande afin que l'enfant TDA/H la perçoive. On retrouve ces résultats sur des durées de quelques millisecondes (Huang, 2012 ; Toplak et Tannock, 2006). Ces enfants font également plus d'erreurs de discrimination que les enfants contrôles (Valko, 2010, dans Noreika, 2013 ; Rubia et al, 2003, dans Toplak, 2006). Cette moindre précision dans la performance est retrouvée à la fois en modalité auditive (Toplak, 2003 ; Toplak et Tannock, 2006) et visuelle (Huang, 2012 ; Rubia, 2003 ; Toplak et Tannock, 2006) et pour des durées allant de quelques millisecondes (Huang, 2012) à plusieurs secondes (Rubia, 2003). On observe également une variabilité de la performance plus élevée chez le sujet TDA/H pour les tâches de discrimination de durée (Rubia et al, 1999, dans Toplak, 2006) et notamment dans les tâches de synchronisation motrice en modalité visuelle (Rubia, 2003) et auditive (Zelaznick, 2012, dans Noreika, 2013). Dans les tâches de synchronisation motrice, les enfants TDA/H ont une moins bonne performance en comparaison du groupe contrôle (Ben-Pazi et al, 2003 ; Pitcher et al, 2002, dans Toplak, 2006).

Tâches de production, de reproduction et d'estimation de durées

Au cours de tâches de reproduction (Mullins, 2005 ; dans Noreika, 2013) et de production de durée (Huang, 2012), les enfants TDA/H produisent une durée qui est plus courte que la durée standard à reproduire ou à produire. Cependant, aucune différence n'est retrouvée entre les sujets contrôles et les TDA/H pour des durées inférieures à 3 secondes dans les tâches de production de durée (Huang, 2012 ; Marx, 2010 dans Noreika, 2013). Les erreurs produites par les TDA/H au cours de tâches d'estimation de durée (Barkley, 2001, dans Noreika, 2013) vont dans le sens d'une surestimation de la durée. Cela suggère que le temps semble subjectivement plus long pour les enfants TDA/H, ainsi, ils pourraient percevoir une durée de 5 secondes comme durant subjectivement 8 secondes. Dès lors, la durée qu'ils produiront sera plus petite que la durée standard à reproduire. Dans les tâches de reproduction de durée, la mémoire de travail semble aussi jouer un rôle crucial, en effet, l'information doit être mémorisée avant de pouvoir être reproduite.

2.2.2. Un déficit du timing implicite chez l'enfant avec TDA/H

Tâche de tempo moteur spontané (timing émergent)

Dans les tâches de tempo moteur spontané, certains auteurs ne trouvent pas de différences entre sujets TDA/H et sujets contrôles (Seidman et al, 2000, dans Rommelse, 2008) tandis que d'autres en trouvent (Kalff et al, 2005, dans Rommelse, 2008 ; Stevens et al, 1970 ; Rubia et al, 1999, dans Soppelsa, 2006). Les résultats sont donc controversés. Chez des sujets non diagnostiqués TDA/H mais présentant de l'impulsivité / hyperactivité et de l'inattention, on observe une plus grande variabilité intra-individuelle, comparé aux enfants contrôles (Rubia, 2003, dans Noreika, 2013). Cependant, ces résultats ne sont pas retrouvés chez des sujets diagnostiqués TDA/H (Rubia, 2003, dans Noreika, 2013). Cela suggère que la variabilité dans la performance serait en lien avec l'intensité des symptômes.

Tâches d'anticipation sensorimotrice (prédiction temporelle exogène)

Lors de tâches d'anticipation sensorimotrice, on trouve d'avantage de réponses anticipées (Toplack & Tannock, 2005), par ailleurs on retrouve une précision de la performance qui est inférieure à celle du groupe contrôle (Toplack & Tanock, 2005). Une plus grande variabilité intra individuelle dans la performance est également retrouvée chez les enfants TDA/H (Rubia, 2003, in Noreika, 2013).

Tâche de prédiction sérielle (prédiction temporelle endogène)

Lors de tâches de prédiction sérielle, le taux d'erreur est plus élevé chez les TDA/H en comparaison des groupes contrôles, pour des intervalles de temps qui diffèrent de quelques secondes (Rubia, 2003), à quelques centaines de millisecondes (Rubia, 2007, in Noreika, 2013).

Tableau 3 : Tâches de timing altérées chez le sujet TDA/H

« x » signifie que la précision et/ou la variabilité de la tâche serait altérée chez l'enfant TDA/H selon la littérature précédemment citée ; « ? » signifie que nous n'avons pas trouvé de résultats dans la littérature.

			Précision	Variabilité	
Timing explicite	Timing moteur		Synchronisation motrice ; production et reproduction de durée	x	x
	Timing perceptif		Discrimination durée	x	x
Timing implicite	Timing émergent		Tempo moteur spontané	?	?
	Prédiction temporelle	Endogène	Prédiction sérielle	x	?
		Exogène	Trajectoire spatio temporelle	x	x

Tableau 4 : Fonctions du timing altérées et préservées chez le sujet TDA/H

« x » signifie que la fonction est altérée ou préservée chez le TDA/H, selon la littérature précédemment citée ; « ? » signifie que les résultats concernant cette fonction sont controversés, selon la littérature précédemment citée.

			Fonctions altérées chez le sujet TDA/H	Fonctions préservées chez le sujet TDA/H
Timing explicite	Timing moteur		x	
	Timing perceptif		x	
Timing implicite	Timing émergent		?	?
	Prédiction temporelle	Endogène	x	
		Exogène	x	

Cliniquement, il est possible d'observer les conséquences de cette perception singulière de la temporalité chez les enfants TDA/H. Ce sont des enfants qui ont des difficultés à se ralentir, à accélérer et à s'organiser dans le temps. Ils ont du mal à attendre, tout semble leur paraître plus long. Lorsque un rythme est imposé à l'enfant TDA/H, cela complique également son action motrice (Soppelsa, 2006). Cependant,

l'observation de ses caractéristiques cliniques ne permet pas d'évaluer l'état des fonctions temporelles de l'enfant, à ne pas confondre avec les notions conventionnelles de temps (saison, jours de la semaine, etc.). Selon notre perspective, cette évaluation ne peut être correctement réalisée que par l'utilisation d'un outil de mesure précis, qui devra avoir un support informatique.

CONCLUSION

Les processus temporels explicites et implicites sont altérés chez les enfants TDA/H, autant sur le plan moteur que perceptif. Les études en neuro imageries fonctionnelles appuient cette idée en montrant un dysfonctionnement des aires cérébrales en lien avec le timing dans cette pathologie. De plus, les modèles récents semblent également indiquer que le déficit du timing est un élément important à considérer dans la compréhension du trouble. Plusieurs fonctions en rapport avec la notion de temps peuvent être atteinte par ce déficit du timing, comme par exemple l'activité motrice, la planification à moyen terme et l'organisation de l'action (Soppelsa 2006). Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a porté sur l'évaluation de l'ensemble des processus temporels chez un même sujet TDA/H. Nous nous sommes donc demandé si une telle évaluation est possible chez un enfant TDA/H et quels seraient les processus altérés et préservés que l'on retrouverait. Correspondraient-ils à ceux retrouvés dans la littérature ?

Dans ce but, trois tâches du timing explicite et trois tâches de prédiction temporelle (timing implicite) ont été élaborées, inspirées du modèle de Coull et Nobre (2008). Les tâches recouvrent l'ensemble des processus du timing, excepté le timing émergent qui ne sera pas testé ici. Nous faisons l'hypothèse que notre étude mettra en évidence une différence dans la performance sur des tâches de timing, entre les enfants TDA/H et les enfants du groupe contrôle, et que cette différence traduira un déficit dans les processus du timing explicite et dans la prédiction temporelle chez les enfants TDA/H.

Partie pratique

1. Méthode

1.1. Participants

Tableau clinique de Clara et Julien, les deux enfants TDA/H

ne présente plus de dysgraphie. La visuo-construction (2D et 3D) lui pose souci avec des résultats déficitaires en copie à la figure de Rey A (-3,44 DS) et aux cubes de la Nepsy (-1,59 DS). Ses capacités d'attention soutenue visuelle sont correctes quand elle prend son temps (barrage 1 : -1,22 ESIQ en vitesse et -0,02 ESIQ en exactitude ; barrage 2 : -2,23 ESIQ en vitesse et -1,21 ESIQ en exactitude). Clara n'aime pas les exercices d'attention. Elle présente une aversion pour le délai (-2,81 DS au Laby 5-12) et il est difficile pour elle de se ralentir, cependant, au test d'appariement d'image, Clara prend son temps et ne présente pas d'impulsivité cognitive (index d'impulsivité à 0,65 DS et index d'exactitude à -1,27 DS).

Julien, âgé de [REDACTED] 1 mois, est diagnostiqué TDA/H et dyslexique / dysorthographique. Il est suivi en psychomotricité au CMP depuis 2 ans et en orthophonie depuis 6 ans. Aucun traitement médicamenteux n'est mis en place. En séance Julien bouge peu, cependant il parle beaucoup sans que ce qu'il dit n'ait de rapport avec la tâche à accomplir. Il est principalement en difficulté par un manque de concentration et de l'impulsivité, de plus, Julien est fatigable. A cela s'ajoute que ses performances dépendent beaucoup de sa motivation, en effet, il aura tendance à ne pas maintenir l'effort lorsqu'il considère que la tâche est inintéressante. Il est en 6^{ème} SEGPA et bénéficie de l'aide d'une AVS. En motricité, Julien présente des difficultés en équilibre statique et dynamique (équilibre statique et dynamique inférieur au 5^{ème} centile au M-ABC). Son écriture est problématique, Julien présente une dysgraphie (-2,26 DS au BHK) accompagnée de difficultés graphiques (-2,66 DS à la copie de figure de la NEPSY). Julien ne montre pas de difficultés d'attention soutenue (barrage 1 : 0,76 ESIQ en vitesse et 0 ESIQ en exactitude) et obtient même de très bons résultats en attention divisée (72% cumulé dans écouter deux choses à la fois de la Teach). Cependant, Julien est impulsif et présente également une aversion pour le délai (indice général d'erreur à -1,86 DS, aversion pour le délai à -2,03 et indice d'inhibition à 0,86 DS au Laby 5-12). Au test d'appariement d'images, Julien est impulsif et n'utilise aucune stratégie de recherche (index d'exactitude à -1,98 DS et index d'impulsivité à -2,01 DS).

1.2. Pré – tests

Afin de vérifier que les participants répondaient aux critères de l'étude, certains pré-tests ont été réalisés avant la passation du protocole.

intégrés au protocole.

- **Le temps de réaction à un stimulus visuel** : Le sujet doit appuyer sur la barre « espace » le plus rapidement possible suite à l'apparition du stimulus visuel. Cela permet d'identifier les sujets qui auraient un trouble visuel, si le temps de réaction était supérieur à 2DS par rapport à la moyenne des données de l'ensemble des participants. Aucun participant n'est exclu.
- **Le questionnaire de Conners (Goyette et Coll. 1978)** : C'est un questionnaire adressé aux parents comportant 48 items en lien avec des comportements observables. Le parent doit évaluer la fréquence du comportement. Un score seuil détermine la note à partir de laquelle il est possible de suspecter une hyperactivité chez l'enfant ($> 1,5$). Un participant est exclu.

Les résultats des pré-tests sont retranscrits dans le Tableau 5 ci dessous.

Tableau 5 : résultats des pré-tests pour l'étude de faisabilité d'une évaluation du timing chez deux enfants TDA/H

		Groupe contrôle (7)	Clara	Julien
Age moyen et DS		10,8 (1,2)	10,4	12,1
% de femmes		80 %	100%	0%
Temps de réaction moyen (ms) et écart-type (ET)		342,175 (66,62)	383, 26	317,46
Indices au Laby 5-12	Indice Général d'Erreur et ET	- 0,11 (1,03)	-1.55	-1.86
	Indice d'Aversion du Délais et ET	- 0,77 (1,6)	-2.81	-2.03
	Indice d'inhibition et ET	0,36 (0,76)	-0.23	0.86
Pourcentage de réussite à la recherche dans le ciel de la TEACH (note G)		G = 3,3 ce qui correspond à 66,1 %	∅	∅
Connors (1978)		< 1,5	∅	∅

1.3. Matériel

L'étude nécessite un ordinateur portable sur lequel est installé le logiciel du protocole : Logiciel Présentation (NeuroBehavior System, Inc., Version 16.5). Ce programme permet l'apparition des stimuli ainsi que l'enregistrement de certaines données :

- Les caractéristiques du stimulus : durée d'apparition, moment d'apparition
- Les réponses du sujet : moment de réponse et durée de réponse

L'ordinateur est branché lors de chaque manipulation afin d'éviter toute interférence. Toutes ces précautions sont prises afin d'éviter des modifications dans l'apparition des stimuli et dans l'enregistrement des réponses.

1.4. Procédure mise en place chez les sujets TDA/H et contrôles

Les enfants sont vus individuellement dans une pièce au calme et le protocole se déroule de la façon suivante :

1. Entretien avec l'enfant afin de remplir la fiche participant, puis passation des épreuves du pré-test, dont le Laby 5-12, la recherche dans le ciel de la TEACH et le temps de réaction (20 minutes). Pour les enfants TDA/H, le bilan psychomoteur a été réalisé au préalable.
2. Passation des 6 tâches de timing, dans un ordre aléatoire pour chaque enfant (30 minutes).

Les 6 tâches suivantes sont administrées à tous les participants dans un ordre aléatoire. La procédure comprend 3 tâches de timing explicite et 3 tâches de timing implicite de l'étude de Coull (2008). La durée de passation est de 30 minutes en moyenne. Le stimulus proposé au cours des différentes tâches est visuel et prend la forme d'un carré de couleur. On trouve la durée de 1400ms dans toutes les tâches.

1.4.1. Tâche de timing explicite

Ici, la notion de temps est l'objectif explicite de la tâche. Les consignes mettent donc clairement en avant la notion de temps dans la réalisation de la tâche. Les participants vont devoir reproduire et discriminer des durées et se synchroniser avec l'apparition d'un stimulus.

1.4.1.1. Tâche de reproduction de durée

Lors de cette tâche (Figure 7), un carré va apparaître sur l'écran avec une durée d'apparition variable. L'enfant devra reproduire cette durée en produisant une réponse motrice (maintenir son doigt appuyé sur la touche espace). Une épreuve de familiarisation est présentée en premier afin de s'assurer de la bonne compréhension de la tâche, puis 10 essais sont enregistrés. Le stimulus a une durée d'apparition variable au cours des 10 essais.



Figure 7 : Tâche de reproduction de durée

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas voir apparaître un carré. Le carré va rester affiché un certain temps. Une fois qu'il aura disparu, tu devras appuyer sur la touche espace aussi longtemps que le carré est resté affiché. Tu peux essayer avec cet exemple (lancer l'exemple). Maintenant on va faire cet exercice 10 fois.* » .

L'erreur est représentée par la différence entre la durée produite et la durée requise. Elle correspond à la précision avec laquelle l'enfant reproduit la durée perçue.

1.4.1.2. Tâche de discrimination temporelle

Lors de cette tâche (Figure 8), l'enfant doit comparer deux stimuli visuels : L'apparition d'un premier carré d'une durée d'affichage t_1 est suivie de l'apparition d'un deuxième carré identique au premier, d'une durée d'affichage supérieure ou inférieure à t_1 . On demande à l'enfant de nous dire si le deuxième carré est resté à l'écran plus longtemps ou moins longtemps que le premier carré. L'expérimentateur enregistre les réponses de l'enfant en appuyant sur la touche droite (plus court) ou gauche (plus long) de la souris. Il y a 30 essais.

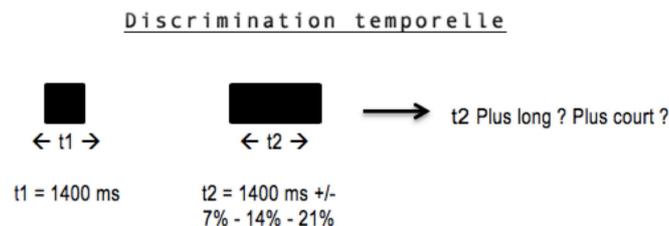


Figure 8 : Tâche de discrimination temporelle

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas voir apparaître un premier carré qui va rester affiché sur l'écran un certain temps. Quand le 1^{er} carré aura disparu, un 2^{ème} carré va apparaître. Tu devras me dire si le deuxième carré est resté plus longtemps ou moins longtemps sur l'écran par rapport au 1^{er} carré.* »

On comptabilise le nombre de bonnes réponses afin de connaître la précision avec laquelle l'enfant discrimine des durées.

1.4.1.3. Tâche de synchronisation motrice

Durant la phase de synchronisation, on demande à l'enfant de synchroniser sa réponse motrice (appuyer sur la touche espace) avec l'apparition d'un stimulus visuel, qui apparaît à intervalle régulier (700ms / 1400ms). Durant la phase de continuation, l'enfant doit continuer à reproduire l'intervalle entre les stimuli, en l'absence de ceux-ci.

Pour chaque essai, l'enfant doit se synchroniser durant 10 frappes avec l'apparition du stimulus, puis celui-ci disparaît et l'enfant doit alors continuer à appuyer sur la touche espace durant 10 frappes. Cette tâche sera répétée 6 fois pour un intervalle de temps de 700 ms puis 6 fois pour un intervalle de temps de 1400ms (Figure 9).

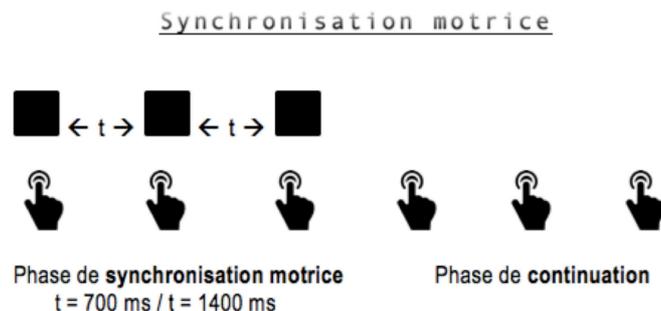


Figure 9 : Tâche de synchronisation motrice

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas voir apparaître un carré et tu devras appuyer sur la touche espace en même temps que tu vois le carré apparaître. Au bout d'un moment le carré n'apparaît plus mais toi tu devras continuer à appuyer sur la touche espace comme si tu voyais encore le carré, de la même façon, en gardant le même rythme, jusqu'à ce que je te dise stop. On fera cet exercice 12 fois.* »

L'erreur est représentée par la différence entre l'intervalle produit et l'intervalle requis. Elle correspond à la précision avec laquelle l'enfant se synchronise et continue la frappe au même rythme.

1.4.2. Tâches de timing implicite

Lors des tâches de timing implicite, les notions de temps sont conduites implicitement afin d'arriver à un objectif moteur (acte moteur à un temps t) ou perceptif (discriminer deux stimuli). La consigne donnée n'informe donc pas l'enfant qu'il devra utiliser des informations temporelles. Trois tâches sont proposées : une tâche de trajectoire spatio-temporelle, une tâche de prédiction indicée et une tâche de prédiction sérielle.

1.4.2.1. Tâche de trajectoire spatio-temporelle

Dans cette tâche (Figure 10), l'enfant utilise implicitement l'information temporelle contenue dans le déplacement de la balle, afin d'anticiper son arrivée sur une cible fixe. La balle se dirige de façon linéaire et avec une vitesse constante. Au cours de sa trajectoire, la balle est occultée et l'enfant doit appuyer sur la touche espace lorsqu'il pense que la balle atteint la cible. L'enfant prédit le moment de collision à partir de l'observation d'une structure temporelle régulière (la balle qui avance sur une trajectoire rectiligne à vitesse constante). Il y a 10 essais.

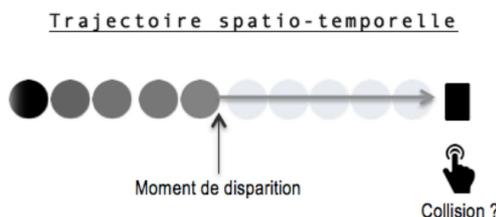


Figure 10 : Tâche de trajectoire spatio-temporelle

On donne la consigne suivante à l'enfant : « *Tu vas voir une balle se diriger vers le carré noir (montrer du doigt le carré). La balle va disparaître de l'écran à un moment donné. Tu vas imaginer que la balle continue à avancer de la même façon (montrer du doigt la trajectoire sur l'écran) et tu vas appuyer sur la touche espace lorsque tu penses que la balle entre en collision avec le carré noir. On va faire ce jeu 10 fois.* »

L'erreur d'estimation est représentée par la différence de temps entre le moment où l'enfant appuie sur la touche espace et le moment de contact attendu. Elle renseigne

sur la précision de la réponse produite par l'enfant.

1.4.2.2. Tâche de prédiction indicée

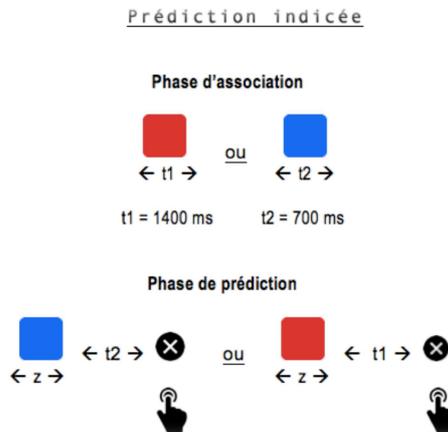


Figure 11 : Tâche de prédiction indicée

Cette tâche associe deux étapes (Figure 11). La phase d'association permet à l'enfant d'associer une couleur de carré avec une durée. Chaque couleur est affichée 10 fois de façon aléatoire.

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas devoir observer ce qu'il se passe sur l'écran, tu n'as rien à faire d'autre. Je te dirai quand c'est fini.* »

La deuxième étape correspond à la phase de prédiction. Le carré rouge et le carré bleu vont apparaître aléatoirement, avec cette fois-ci une même durée d'affichage Z, suivie, après un intervalle de temps, de l'apparition d'un stimulus (une croix). L'intervalle de temps entre le moment où disparaît le carré et le moment où apparaît la croix correspond au temps t1 ou t2 de durée d'affichage des carrés lors de la phase d'association. L'enfant doit appuyer sur la touche espace dès qu'il voit la croix apparaître. La tâche est répétée 20 fois. Dans cette tâche l'enfant anticipe l'apparition du stimulus (la croix) à partir de la couleur du carré. En effet, les informations pré repérées dans la phase d'association lui ont permis d'associer de façon non formel, la couleur du carré à une durée t1 ou t2.

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas voir apparaître soit un carré bleu, soit un carré rouge. Le carré de couleur va disparaître et puis après un certain*

temps, tu verras apparaître une croix noire. Tu devras appuyer sur la touche espace dès que tu vois la croix apparaître. »

Ici, c'est le temps de réaction (différence entre le moment où l'enfant appuie sur la touche espace et le moment où la croix apparaît sur l'écran) qui renseigne sur la précision de la tâche.

1.4.2.3. Tâche de prédiction sérielle

Dans cette tâche (Figure 12) une séquence de trois intervalles inter stimuli (par exemple 700ms – 1400ms – 700 ms) apparaît. Cette séquence est répétée trois fois. Une 4^{ème} séquence, ou séquence cible, est ensuite présentée. Cette séquence cible est soit identique, soit différente de la séquence répétée trois fois à l'identique. L'enfant doit dire à l'examineur si elle est identique ou différente. L'examineur enregistre les réponses en appuyant sur le bouton droit pour identique et gauche pour différente. La tâche est répétée 14 fois.

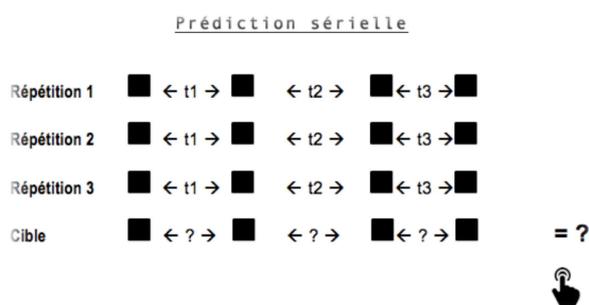


Figure 12 : Tâche de prédiction sérielle

La consigne suivante est donnée à l'enfant : « *Tu vas voir apparaître un carré de façon rythmée, comme ça (faire un geste démonstratif avec la main pour illustrer le terme « rythmé »). Cette séquence sera répétée trois fois à l'identique. A la fin des trois répétitions, une 4^{ème} séquence va apparaître et tu devras me dire si elle est pareille ou différente des autres séquences que tu as vues. On va faire cela 14 fois. »*

On comptabilise le nombre de bonnes réponses afin de renseigner sur la précision de la prédiction sérielle.

1.5. Analyse des variables

Afin d'obtenir des indices de précision et de variabilité, nous nous sommes appuyés sur certaines variables. Ces indices sont par la suite analysés qualitativement, afin de discuter nos questionnements de départ.

➤ **Tâche de reproduction de durée :**

- La précision avec laquelle le participant reproduit la durée est renseignée à partir de l'erreur absolue moyenne, qui correspond à la moyenne des différences entre la durée présentée (1200/1400 ou 1600) et la durée produite par le participant, pour chaque essai.
- La variabilité de l'erreur est représentée par l'écart-type de l'erreur moyenne de tous les essais.

➤ **Tâche de synchronisation/continuation :**

- La précision de la frappe pour un intervalle inter stimulus de 700 ms et de 1400 ms est renseignée par l'erreur absolue du tempo moyen durant les phases de synchronisation et de continuation. On l'obtient en faisant la valeur absolue de la différence entre l'intervalle produit et l'intervalle requis.
- La variabilité de la frappe dans les phases de synchronisation et de continuation est renseignée par l'écart-type de tempo moyen qui correspond à la déviation standard de l'erreur moyenne pour tous les essais.

➤ **Tâche de discrimination temporelle :**

- La performance à percevoir une différence entre deux durées est renseignée par le nombre d'erreurs commises par le participant.

➤ **Tâche de trajectoire spatio-temporelle :**

- La précision avec laquelle le participant estime le temps avant contact est renseignée par la moyenne de l'erreur absolue qui correspond à la moyenne des différences entre le temps réel avant contact (1400ms) et le temps avant contact estimé par le sujet pour chaque essai.
- La variabilité de l'estimation du temps avant contact est renseignée par l'écart-type de l'erreur moyenne. Elle correspond à la déviation

standard autour de l'erreur moyenne pour l'ensemble des essais.

➤ **Tâche de prédiction temporelle indiquée :**

- La précision de la prédiction temporelle est renseignée par le temps de réaction moyen. Il correspond au délai entre l'apparition des croix et la réponse donnée.
- La variabilité de la prédiction temporelle est renseignée par l'écart-type du temps de réaction. Il correspond à la déviation standard autour du temps de réaction moyen de l'ensemble des essais et nous renseigne sur la variabilité de la prédiction temporelle.

➤ **Tâche de prédiction sérielle :**

- La précision de la prédiction temporelle est renseignée par le nombre d'erreurs, c'est-à-dire de la capacité à dire si une séquence présentée est similaire à une séquence préalablement mémorisée.

2. Résultats de l'étude : Analyse qualitative de l'étude de faisabilité d'une évaluation du timing chez deux enfants TDA/H.

Nous vous proposons ici une analyse qualitative des performances aux tests du timing des deux enfants TDA/H en comparaison aux enfants du groupe contrôle. Les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes. Nous n'avons pas réalisé de statistiques en raison du faible nombre de sujets.

On considère par ailleurs que la tâche réalisée par l'enfant TDAH est déficitaire en comparaison à celle du groupe contrôle lorsque:

- La performance de l'enfant TDAH est moins précise et plus variable en comparaison à celle du groupe contrôle.
- La performance de l'enfant TDAH est moins précise mais autant variable en comparaison à celle du groupe contrôle.
- La performance de l'enfant TDAH est aussi précise mais plus variable en comparaison à celle du groupe contrôle.

2.1. Résultats des tâches de timing explicite

➤ Reproduction de durée

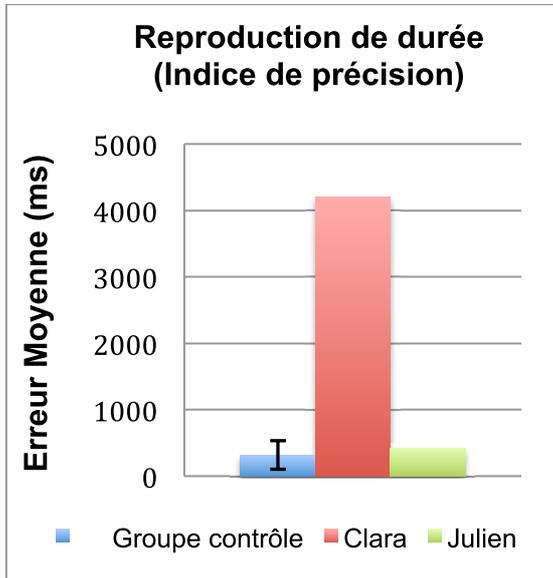


Figure 13 : Reproduction de durée - Indice de précision représenté par l'Erreur moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

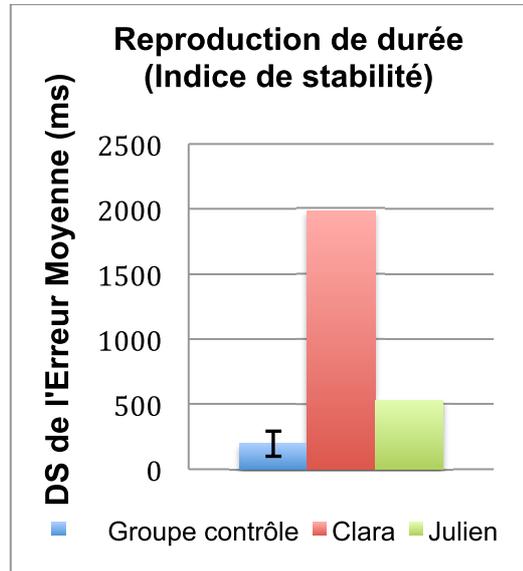


Figure 14 : Reproduction de durée - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Clara est moins précise dans l'épreuve de reproduction de durée (Figure 13), son erreur moyenne est supérieure à celle du groupe contrôle, elle est aussi plus variable (Figure 14) que le groupe contrôle. Julien est aussi précis (Figure 13) mais plus variable (Figure 14) que le groupe contrôle.

➤ Synchronisation motrice

Pour 700 ms

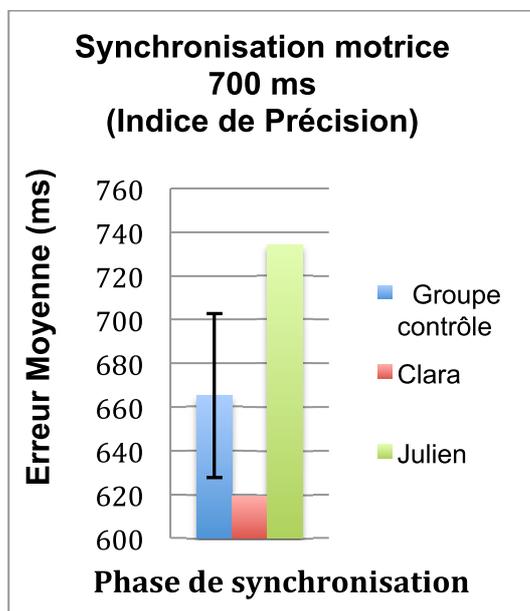


Figure 15 : Phase de synchronisation (700 ms) - Indice de précision représenté par l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

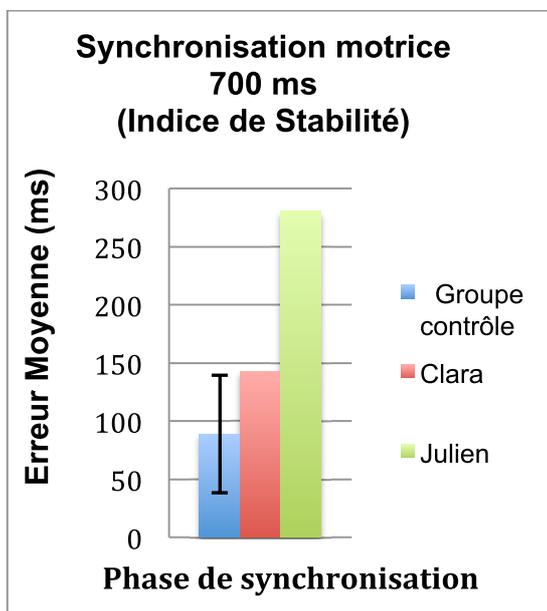


Figure 16 : Phase de synchronisation (700 ms) - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans la phase de synchronisation pour un intervalle de 700 ms, Clara est plus précise que le groupe contrôle (Figure 15), mais la variabilité dans la réponse est semblable à celle du groupe contrôle (Figure 16). Julien est moins précis (Figure 15) et plus variable (Figure 16) que le groupe contrôle.

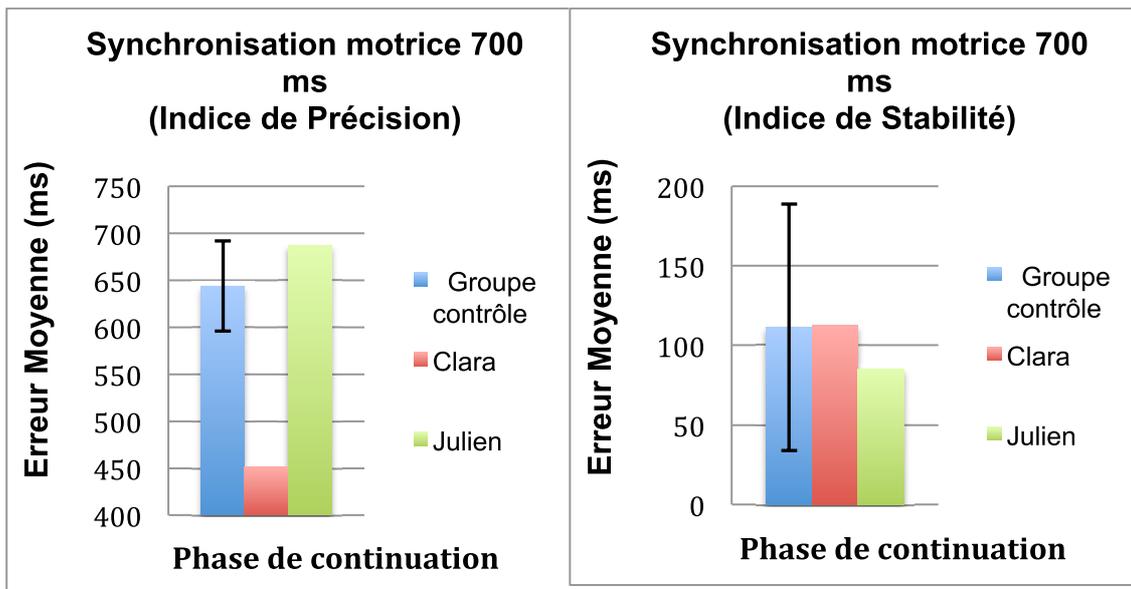


Figure 17 : Phase de continuation (700 ms) - Indice de précision représenté par l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Figure 18 : Phase de continuation (700 ms) - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans la phase de continuation pour un intervalle de 700 ms, Clara est toujours plus précise que le groupe contrôle (Figure 17), avec une variabilité de la réponse semblable à celle du groupe contrôle (Figure 18). Julien est aussi précis (Figure 17) et variable (Figure 18) que le groupe contrôle lors de la phase de continuation.

Pour 1400 ms

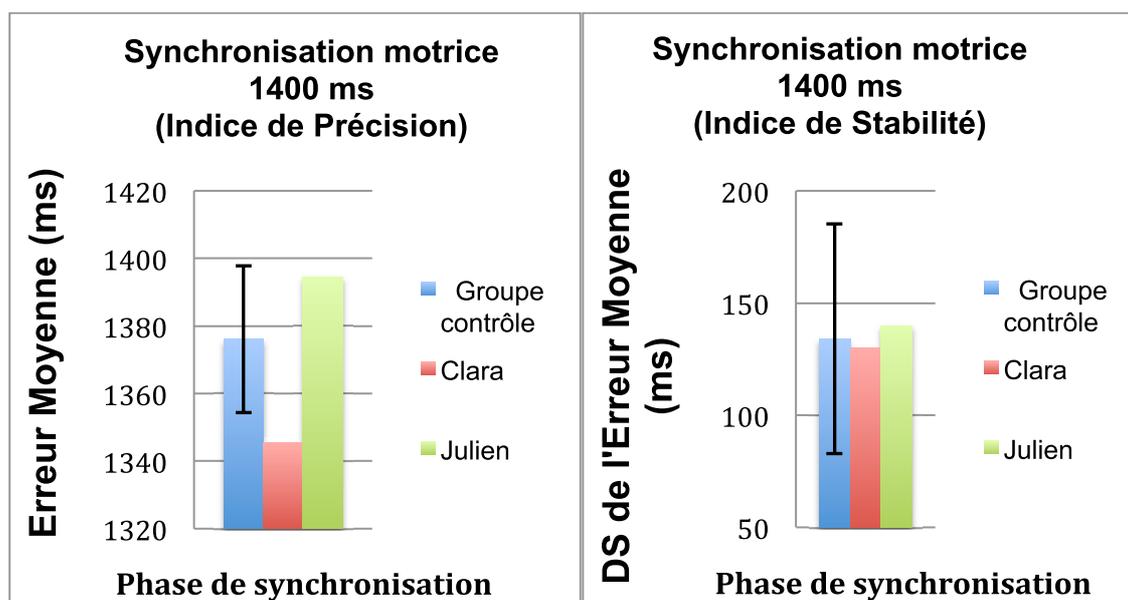


Figure 19 : Phase de synchronisation (1400 ms) - Indice de précision représenté par l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Figure 20 : Phase de synchronisation (1400 ms) - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans la phase de synchronisation pour un intervalle de 1400 ms, Clara est plus précise (Figure 19) et autant variable (Figure 20) que le groupe contrôle. Julien est aussi précis (Figure 19) et variable (Figure 20) que le groupe contrôle.

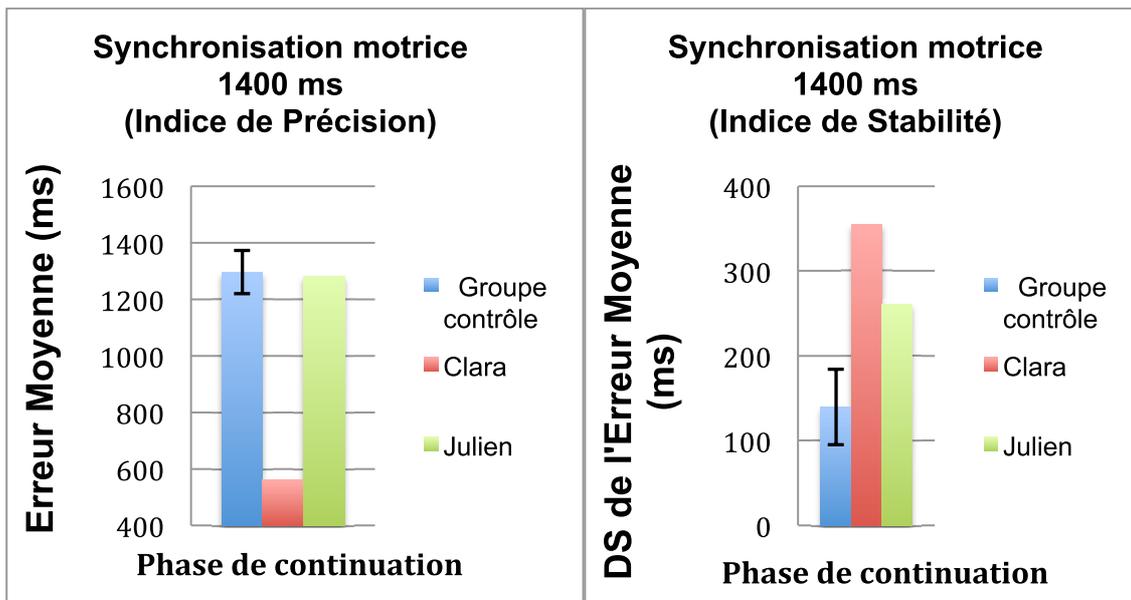


Figure 21 : Phase de continuation (1400 ms) - Indice de précision représenté par l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Figure 22 : Phase de continuation (1400 ms) - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans la phase de continuation pour un intervalle de 1400 ms, Clara est plus précise (Figure 21), cependant ces résultats sont beaucoup plus variables que le groupe contrôle (Figure 22). Julien est aussi précis que le groupe contrôle (Figure 21) mais il est plus variable (Figure 22).

➤ **Discrimination temporelle**

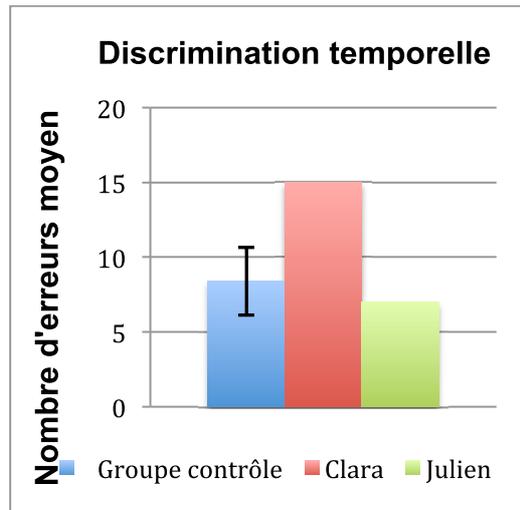


Figure 23 : Discrimination temporelle – La précision est représenté par le nombre d'erreurs moyen pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. Le barre d'erreur représente l'écart type.

Dans la tâche de discrimination temporelle, Clara fait plus d'erreurs que le groupe contrôle (Figure 23). Julien obtient des résultats similaires à ceux du groupe contrôle (Figure 23).

2.2. Résultats des tâches de timing implicite

➤ Trajectoire spatio-temporelle

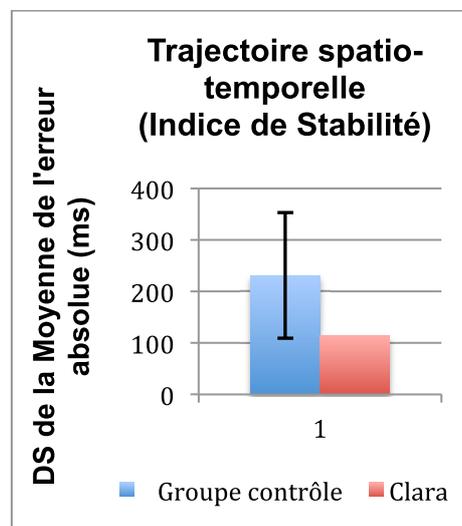
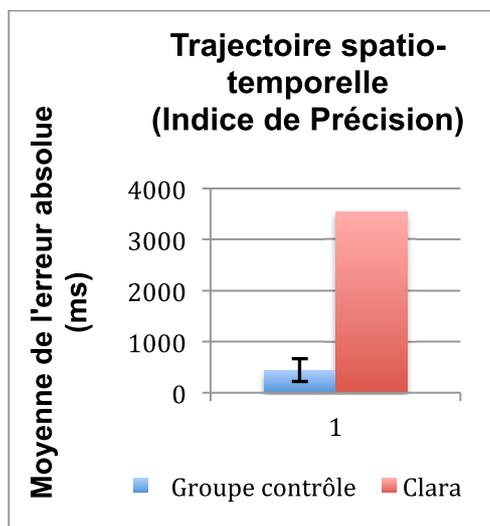


Figure 24 : Trajectoire spatio-temporelle – Indice de précision de représenté par l'Erreur absolue moyenne (ms) pour le groupe contrôle en bleu et le sujet TDAH en rouge. La barre d'erreur représente l'écart type.

Figure 25 : Trajectoire spatio-temporelle - Indice de Stabilité représenté par la Déviation standard (DS) de l'Erreur absolue moyenne pour le groupe contrôle en bleu et le sujet TDA/H en rouge. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans les tâches de trajectoire spatio-temporelle, Clara est moins précise (Figure 24) mais tout aussi variable (Figure 25) que le groupe contrôle.

La tâche spatio-temporelle aura bien été proposé à Julien, cependant une erreur s'est produite suite à un bug informatique, rendant les résultats inexploitable.

➤ Prédiction indiquée

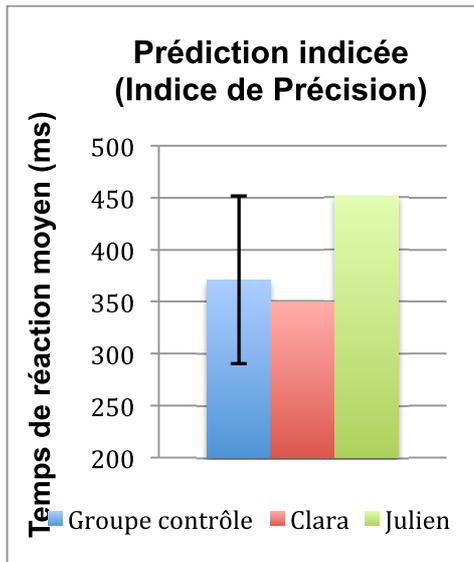


Figure 26 : Prédiction indiquée – Indice de précision de représenté par le temps de réaction moyen (ms) pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDAH en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

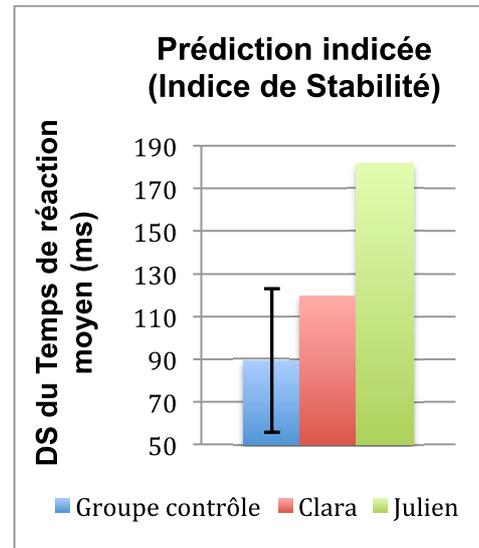


Figure 27 : Prédiction indiquée – Indice de stabilité représenté par la Déviation Standard (DS) du temps de réaction moyen (ms) pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDAH en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Dans les tâches de prédiction indiquée, Clara est aussi précise (Figure 26) et variable (Figure 27) que le groupe contrôle. Julien est aussi précis (Figure 26) mais plus variable (Figure 27) que le groupe contrôle.

➤ Prédiction sérielle

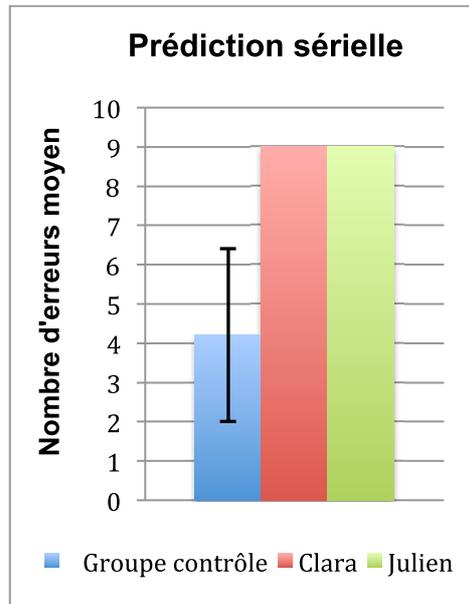


Figure 28 : Prédiction sérielle – La précision est représenté par le nombre d'erreurs moyen pour le groupe contrôle en bleu et les sujets TDA/H en rouge et vert. La barre d'erreur représente l'écart type.

Clara et Julien font plus d'erreurs que le groupe contrôle (Figure 28).

L'analyse qualitative de l'ensemble des résultats (indice de précision et indice de stabilité) est retranscrite dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Analyse qualitative de l'étude de faisabilité du protocole de timing chez deux enfants TDAH

- = : Les résultats du sujet TDAH suivent la tendance du groupe contrôle (performances dans l'intervalle de confiance du groupe contrôle)
- : Les résultats du sujet TDAH ne suivent pas la tendance du groupe contrôle et la performance réalisée est moins bonne que celle du groupe contrôle (performances inférieures à l'intervalle de confiance du groupe contrôle)
- + : Les résultats du sujet TDAH ne suivent pas la tendance du groupe contrôle et la performance réalisée est meilleure que celle du groupe contrôle (performances supérieures à l'intervalle de confiance du groupe contrôle)
- ? : Absence de données
- ∅ : Absence d'indice
- En violet** : Tâche réussite
- En rose** : Tâche déficitaire

				Clara		Julien	
				Précision	Stabilité	Précision	Stabilité
TIMING EXPLICITE	Reproduction de durée			-	-	=	-
	Synchro Motrice	700 ms	Synchro	+	=	-	-
			Conti	+	=	=	=
		1400 ms	Synchro	+	=	=	=
			Conti	+	-	=	-
	Discrimination de durée			-	∅	=	∅
TIMING IMPLICITE	Trajectoire spatio-temporelle			-	=	?	?
	Prédiction indicée			=	=	=	-
	Prédiction sérielle			-	∅	-	∅

3. Discussion

Notre travail avait pour objectif de réaliser une étude préalable à la construction d'un outil de dépistage d'un déficit du timing chez l'enfant TDA/H, en nous appuyant sur les travaux de Coull (2008), qui représentent la possibilité d'une évaluation complète des processus temporels. Il nous semble en effet qu'un tel outil d'évaluation trouverait sa place dans une approche diagnostique plus subtile et / ou dans la mise en lumière des différents profils rencontrés et à partir desquels pourrait être mise en place une prise en charge plus adaptée à la singularité de chaque enfant. La valeur pronostique d'un tel outil dans le dépistage du TDA/H demande encore à être réfléchie.

Dans un premier temps, nous souhaitons donc nous informer sur la faisabilité d'une telle évaluation du timing chez des enfants TDA/H et sur les composantes du timing déficitaires et préservées chez ces enfants. Plusieurs limites se sont posées dans cette étude : Premièrement, le protocole n'est pas ludique et requière des capacités attentionnelles de part sa durée (20 à 30 minutes). La question de la motivation se pose donc, pouvant influencer la performance dans les tâches. Deuxièmement, les résultats de l'étude ne sont décrits que qualitativement et il serait nécessaire d'ajouter à l'étude un nombre de sujets TDA/H et contrôles plus important afin de valider nos résultats statistiquement. Cependant, il est possible de discuter autour de nos objectifs, résumés ci-dessous sous forme de questions :

- (1) En premier lieu, l'utilisation du protocole a-t-il permis de mettre en évidence une différence dans le timing entre les enfants contrôles et les enfants TDA/H ?**
- (2) Ensuite, quels sont les composantes du timing déficitaires et préservées chez les enfants TDA/H ?**
- (3) Enfin, l'altération du timing retrouvée chez les enfants TDA/H correspond-elle à celle décrite dans la littérature ?**

- (1) En premier lieu, l'utilisation du protocole a-t-il permis de mettre en évidence une différence dans le timing entre les enfants contrôles et les enfants TDA/H ?**

Qualitativement, nous avons observé des différences dans la performance aux tests du timing entre les sujets TDA/H et les sujets contrôles, avec certaines performances plus

détériorées chez les sujets TDA/H en comparaison des enfants contrôles. Cela rejoint les données de la littérature selon lesquelles il existerait dans le TDA/H une altération des processus temporels (Noreika, 2013). Ainsi, il semblerait que les tâches de reproduction de durée, de discrimination de durée, de trajectoire spatio-temporelle, de prédiction sérielle et de prédiction indicée, puissent être candidates à la mise en évidence des troubles de la temporalité dans le TDA/H. Aucun des deux enfants TDA/H n'aura échoué entièrement la tâche de synchronisation motrice. Notre étude demande à être complétée par une analyse statistique portant sur des groupes de participants plus importants, afin de confirmer les différences observées.

(2) Quelles sont les composantes du timing déficitaires et préservées chez les enfants TDA/H ?

Dans notre étude, pour chaque tâche du timing explicite et implicite, nous trouvons au moins un des deux enfants TDA/H avec une performance détériorée par rapport aux sujets sains, excepté dans la tâche de synchronisation (700ms pour Clara et 1400ms pour les deux) et de continuation (700 ms pour les deux) pour lesquelles les deux enfants TDA/H obtiennent une performance similaire à celle du groupe contrôle. La performance Clara se montre même être supérieure en terme de précision, à celle du groupe contrôle. Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux de la littérature qui décrivent une précision de la performance moindre en synchronisation motrice chez les enfants TDAH (Ben-Pazi et al, 2003 ; Pitcher et al, 2002, dans Toplak, 2006).

Concernant plus spécifiquement les résultats de Clara par rapport au groupe contrôle, les comparaisons que nous avons pu réaliser montrent une détérioration dans 3 tâches de timing explicite (reproduction, discrimination de durée et phase de continuation pour un intervalle de 1400 ms) et dans 2 tâches de timing implicite (trajectoire spatio-temporelle et prédiction sérielle), correspondant au processus temporels suivants : timing perceptif, timing moteur, prédiction temporelle exogène et endogène. Clara est moins précise dans les tâches de reproduction de durée, discrimination de durée, trajectoire spatio-temporelle et prédiction sérielle, elle est également plus variable dans la phase de continuation (intervalle inter stimulus long - 1400 ms) et en reproduction de durée. Toutefois, Clara montre une performance comparable à celle des sujets sains dans la tâche de synchronisation motrice (700 ms) et dans la tâche de

prédiction indicée, avec, comme mentionné auparavant, une performance supérieure en terme de précision dans la tâche de synchronisation motrice (700 ms).

En ce qui concerne les résultats de Julien par rapport au groupe contrôle, nos comparaisons montrent une détérioration dans 2 tâches de timing explicite (reproduction de durée et synchronisation motrice) et 2 tâches de timing implicite (prédiction indicée et prédiction sérielle), correspondant aux processus temporels suivants : timing moteur et prédiction temporelle endogène. Julien est plus variable que le groupe contrôle au cours de toutes les tâches déficitaires énoncées et il est également moins précis dans la tâche de précision sérielle et de synchronisation (700 ms). La tâche de discrimination de durée correspondant au processus de timing perceptif, ne montre pas de performance détériorée par rapport au groupe de sujets sains. On remarquera également que Julien obtient des résultats similaires à ceux du groupe contrôle en continuation (700 ms) et synchronisation (1400ms).

Ainsi, nous pouvons observer plusieurs tâches communes à Clara et Julien et présentant des performances détériorées : reproduction de durée, continuation (1400 ms) et prédiction sérielle. Ces processus temporels sont donc altérés chez nos deux enfants TDA/H : le timing moteur et la prédiction temporelle endogène.

L'absence de données concernant le timing émergent ne nous permet pas de conclure pour ce processus. Si ce travail devait être continué, il serait intéressant de se pencher sur l'intérêt d'une évaluation de cette facette du timing.

Tableau 7 : Processus temporels altérés et préservés chez Clara et Julien

- X** : Processus temporel altéré
- ✓** : Processus temporel préservé
- ?** : Absence de données

		Clara	Julien
Timing explicite	Timing moteur	X	X
	Timing perceptif	X	✓
Timing implicite	Timing émergent	?	?
	Prédiction temporelle	Endogène	X
		Exogène	X

Nous pouvons également nous interroger sur les éléments qui pourraient expliquer en partie la différence de performance entre Clara et Julien dans les tests du timing. En premier lieu, nous savons que Clara est également diagnostiquée dysphasique. Or, les données actuelles mettent en évidence un lien étroit entre les processus de langage et le timing, la dynamique du langage pouvant être analysée à différents niveaux temporels (Poppel, 1997 dans Szélag, 2015). Il semblerait en effet, qu'à la fois dans l'expression et dans la réception du langage, le traitement des informations temporelles allant de quelques millisecondes à quelques secondes représente un facteur important (Szélag, 2004 ; Szélag, 2011 ; dans Szélag, 2015). Le fonctionnement des processus temporels est donc une source d'informations non négligeables concernant le traitement du langage dans notre cerveau, aussi bien chez des sujets sains que chez des sujets pathologiques. On peut ainsi supposer que la dysphasie de Clara a des conséquences sur la performance aux tests du timing, cependant, au vu des études actuelles nous ne pouvons pas formuler d'hypothèses concernant les processus concernés. Par ailleurs, il est à noter que certaines fonctions neuropsychologiques comme l'attention et la mémoire de travail, sont impliquées dans le traitement de l'information temporelle et que ces fonctions sont déficitaires dans le TDA/H, de plus, le déficit du timing serait peut être en lien avec la sévérité et la forme du trouble. Clara et Julien ne présentant pas le même tableau clinique, cela laisse supposer qu'une partie des différences observées dans la performance aux tests du timing seraient en lien avec les différentes atteintes présentes chez nos deux enfants. Là encore, nous ne pouvons que supposer, mais les résultats du bilan indiquent que Clara semble plus en difficulté en attention soutenue² que Julien, tandis que Julien se montre plus impulsif cognitivement³ que Clara, ces caractéristiques pouvant influencer la performance dans l'ensemble des tâches. Ces hypothèses restent à démontrer et il serait intéressant d'étudier les corrélations entre la sévérité d'une part et la forme d'autre part du trouble et le déficit dans le timing. Il aurait aussi été intéressant d'évaluer la mémoire de travail lors du bilan psychomoteur.

² Selon l'analyse des résultats au T2B

³ Selon l'analyse des résultats au test d'appariement d'image

(3) Enfin, l'altération du timing retrouvée chez les enfants TDA/H correspond-elle à celle décrite dans la littérature ?

Dans notre étude, nous trouvons une atteinte de l'ensemble des processus temporels pour Clara. Pour Julien, nous trouvons une atteinte du timing moteur et de la prédiction temporelle endogène, avec une absence de données concernant la prédiction temporelle exogène. Dans la littérature on trouve une atteinte de tous les processus temporels, avec cependant des résultats controversés sur la question du timing émergent. Plus particulièrement, les déficits de timing explicite les plus importants sont retrouvés dans des tâches de discrimination de durée, de synchronisation sensori-motrice et de reproduction de durée (Noreika, 2013). Dans notre étude, les tâches de discrimination de durée et de reproduction de durée sont des échecs pour Clara et les tâches de reproduction de durée et de synchronisation (700 ms) sont des échecs pour Julien, néanmoins, la tâche de synchronisation motrice est particulièrement bien réussie par Clara ce qui est en désaccord avec les résultats de la littérature. Cependant, nous l'avons souligné précédemment, un certain nombre d'éléments peuvent expliquer les différences de performance observées. Pour le timing implicite, la littérature indique un déficit dans les tâches d'anticipation (trajectoire spatio-temporelle) et de prédiction sérielle. Dans notre étude, la tâche de prédiction sérielle est un échec pour Clara et Julien et la tâche de trajectoire spatio-temporelle est un échec pour Clara. L'absence de données pour Julien ne nous permettra pas de conclure.

Ces résultats préliminaires suggèrent qu'une évaluation du timing explicite et de la prédiction temporelle chez le sujet TDA/H est possible. Notre étude aura permis de mettre précisément en évidence un déficit des processus temporels chez Clara et Julien, en comparaison des enfants contrôles. Cette étude préliminaire demande à être complétée dans l'objectif d'envisager par la suite la mise en place d'un outil d'évaluation adapté des fonctions temporelles afin de réfléchir à une prise en charge plus appropriée.



Conclusion et perspectives

Si la compréhension des mécanismes temporels déficitaires dans le TDA/H fait actuellement l'objet de nombreuses études, la question d'un déficit du timing est également abordée dans d'autres pathologies (Allman, 2012). Nous sommes donc partis de ce constat, avec la volonté d'aborder cette thématique en nous posant la question essentielle de l'évaluation des fonctions temporelles, autrement dites du timing. Pour cela, il nous fallait identifier plus clairement les processus temporels et leurs implications dans le trouble, puis mettre au point une étude préliminaire de faisabilité d'évaluation du timing chez l'enfant TDA/H. En utilisant à cet effet un protocole expérimental sur la base du modèle de Coull (2008), notre étude s'inscrit dans une perspective nouvelle d'évaluation complète et précise du timing chez un même sujet TDA/H.

Les résultats de notre étude auront permis de montrer que le modèle de Coull représente la possibilité d'une évaluation du timing explicite et de la prédiction temporelle chez un même enfant TDA/H, et que cette évaluation permet de dresser un tableau des processus déficitaires et préservés chez un même enfant en comparaison avec un groupe d'enfants non TDA/H, ce qui aura des répercussions sur la prise en charge proposée. Elle a montré que Clara présente un déficit du timing explicite (timing moteur et perceptif) et implicite (prédiction temporelle exogène et endogène) et que Julien présente un déficit au niveau d'un processus du timing explicite (timing moteur) et d'un processus du timing implicite (prédiction temporelle endogène). Le timing perceptif est un processus du timing explicite qui est préservé chez Julien. Si nous devons intégrer à notre prise en charge les déficits de timing observés, nous pourrions par exemple proposer à Clara de planifier chaque séance, en lui présentant un certain nombre d'activités déjà connues et pour lesquelles elle devrait dans un premier temps estimer le temps de réalisation, pour ensuite sélectionner les activités réalisables dans le temps de séance impartie (timing explicite perceptif). Il semble important de développer les capacités de perception et de gestion du temps chez les enfants TDA/H, l'évolution scolaire se caractérisant par des exigences d'autonomie et d'organisation de plus en plus grandes. Avec Julien, nous pourrions pratiquer des jeux de mains, accompagnés de comptines rocambolesques inventées par l'enfant (timing explicite moteur) !

L'intérêt des psychomotriciens pour le déficit du timing est important, car les fonctions temporelles sont intriquées au domaines psychomoteurs de l'enfant et de l'adulte (impact sur les coordinations motrices, sur les fonctions exécutives, etc.). L'évaluation complète des processus du timing représente la possibilité d'innover autant dans la compréhension de la symptomatologie que dans les possibilités de dépistage et dans la rééducation. Il serait intéressant de se questionner plus particulièrement sur les intrications entre les mécanismes temporels altérés et les autres fonctions intriquées, afin d'étudier l'ensemble des éléments de solution pour la compréhension générale du trouble et dans la prise en charge. Plus particulièrement, il semble important de continuer à étudier les liens entre les informations cliniques et neurobiologiques afin de développer d'autres modèles théoriques du trouble. D'un point de vue rééducatif, l'intérêt serait d'espérer que la rééducation du timing entraîne par « effets rebonds » l'amélioration des autres fonctions déficitaires. Certaines études, dont celle de Zélanti (2013) sur des enfants cérébro-lésés, montre que l'utilisation de tâche temporelle et notamment la production de rythmes, peut réduire un déficit cognitif. Il appelle cela la remédiation cognitive temporelle. Dans cette optique également, l'étude de Shaffer et al. (2001) montre que la symptomatologie du TDA/H peut s'améliorer à partir d'une prise en charge organisée autour du timing moteur (explicite), à partir de tâches interactives de métronomes: des différences significatives sont trouvées dans certains facteurs de la performance, notamment dans les domaines du contrôle moteur, de l'attention, dans la lecture, dans des processus langagiers. De plus, les parents ont rapporté des améliorations dans la régulation des comportements agressifs. D'autres études suggèrent aussi que les fonctions attentionnelles, la mémoire de travail et les capacités d'inhibition sont corrélées au timing (Noreika, 2013). En ce qui concerne la prise en charge du timing lui même, l'étude de Innocent Mutel (2016) sur des sujets Parkinsoniens montre qu'un entraînement du timing implicite par une tâche perceptivo-motrice d'interception, a un effet sur le timing implicite et sur l'estimation de durée (timing explicite). Ce sont quelques pistes de travail à explorer.

Enfin, la question des comorbidités et de leur rôle dans le domaine du timing doit être considérée, tout comme l'influence du traitement par méthylphénidate qui reste une problématique encore non résolue, les études étant controversées sur le sujet (Noreika, 2013).

Il conviendrait à présent de poursuivre cette étude avec une analyse statistique, en augmentant le groupe d'enfants TDA/H et contrôles afin de valider nos hypothèses de départ. Dans une perspective plus lointaine, une transformation du protocole est nécessaire dans l'objectif de créer un outil d'évaluation des fonctions temporelles, qui selon notre perspective, devra prendre la forme d'un outil d'évaluation informatisé. Cet outil devra répondre aux caractéristiques d'un outil d'évaluation (Albaret, 2003), tout en étant ludique et motivant pour l'enfant.



Bibliographie

1. **Aghdaee, S. M., Battelli, L., & Assad, J. A. (2014).** Relative timing: from behaviour to neurons. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 369(1637), 20120472.
2. **Albaret, J.M. (1996).** L'enfant agité et distrait en psychomotricité, *Journal de pédiatrie et de puériculture*, n°3, 144-159.
3. **Albaret, J.M. (2003).** Intérêt de la mesure dans l'examen psychomoteur, *Evolutions psychomotrices*, 60, 66-75
4. **Allman, M. J., & Meck, W. H. (2012).** Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain*, 135(3), 656-677.
5. **Bange, F. (2014).** *Aide mémoire TDA/H en 57 notions*. Lieu d'édition: Dunod
6. **Barkley, R.A. (1997).** Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functioning: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
7. **Barkley, R.A., Edwards G., Laneri M., Fletcher K., Metevia L. (2001).** Executive Functioning, Temporal Discounting, and Sense of Time in Adolescents With Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) and Oppositional Defiant Disorder (ODD). *Journal of Abnormal Child Psychology*, 29(6): 541-556
8. **Baroni, A., & Castellanos, F. X. (2015).** Neuroanatomic and cognitive abnormalities in attention-deficit/hyperactivity disorder in the era of 'high definition' neuroimaging. *Current opinion in neurobiology*, 30, 1-8.
9. **Ben-Pazi, H., Shalev R., Gross-Tsur V. & Bergman V. (2006).** Age and medication effects on rhythmic responses in ADHD : possible oscillatory mechanisms ?. *Neuropsychologia*, vol.44, 412- 416.
10. **Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010).** How cognitive load affects duration judgments: a meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134(3), 330–333.
11. **Block, R. A., & Grondin, S. (2014).** Timing and time perception: A selective review and commentary on recent reviews. *Frontiers in psychology*, 5.
12. **Bonnichon, C. (2012).** *Entraînement aux processus temporels et lien avec l'attention chez un adolescent présentant un Trouble du Déficit de l'Attention / Hyperactivité*. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Psychomotricienne. Toulouse.
13. **Bourdin, S., Perez E. (2010).** *Programme d'entraînement aux processus temporels chez des enfants présentant un trouble du déficit de l'attention avec ou*

sans hyperactivité (TDA/H). Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Psychomotricité. Toulouse.

14. **Breska, A., & Ivry, R. B. (2016)**. Taxonomies of timing: where does the cerebellum fit in?. *Current opinion in behavioral sciences*, 8, 282-288.
15. **Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005)**. What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755-765.
16. **Buitelaar, J., & Sergeant, J. A. (2008)**. Speed, variability, and timing of motor output in ADHD: which measures are useful for endophenotypic research?. *Behavior genetics*, 38(2), 121-132.
17. **Carelli, M.G., Forman H., Mäntylä T. (2008)**. Sense of time and executive functioning in children and adults. *Child Neuropsychology*, 14(4):372-386.
18. **Castellanos, F.X., Sonuga-Barke E.J., Milham M. & Tannock R. (2006)**. Characterizing cognition in ADHD : beyond executive dysfunction. *Trends in cognitive sciences*, Vol.10.
19. **Coghill, D. R., Seth, S., & Matthews, K. (2014)**. 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(09), 1989-2001.
20. **Combre, M. (2015)**. *TDA/H, prise en charge d'une temporalité singulière*. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'État de Psychomotricité. Toulouse.
21. **Coull, J. T., & Nobre, A. C. (2008)**. Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current opinion in neurobiology*, 18(2), 137-144.
22. **Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011)**. Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 3-25.
23. **Coull, J. T., Davranche, K., Nazarian, B., & Vidal, F. (2013)**. Functional anatomy of timing differs for production versus prediction of time intervals. *Neuropsychologia*, 51(2), 309-319.
24. **Coull, J. T., Charras, P., Donadieu, M., Droit-Volet, S., & Vidal, F. (2015)**. SMA selectively codes the active accumulation of temporal, not spatial, magnitude. *Journal of cognitive neuroscience*.
25. **Dalla Bella, S., Farrugia, N., Benoit, C. E., Begel, V., Verga, L., Harding, E., & Kotz, S. A. (2016)**. BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behavior Research Methods*, 1-18.
26. **Delevoeye-Turrell, Y., Dione, M., & Agneray, G. (2014)**. Spontaneous motor

- tempo is the easiest pace to act upon for both the emergent and the predictive timing modes. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 126, 121-122.
27. **De Zeeuw, P., Weusten, J., van Dijk, S., van Belle, J., & Durston, S. (2012).** Deficits in cognitive control, timing and reward sensitivity appear to be dissociable in ADHD. *PloS one*, 7(12), e51416.
 28. **Dias, T. G. C., Kieling, C., Graeff-Martins, A. S., Moriyama, T. S., Rohde, L. A., & Polanczyk, G. V. (2013).** Developments and challenges in the diagnosis and treatment of ADHD. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 35, S40-S50.
 29. **Droit-Volet, S. (2001).** Les différentes facettes du temps. *Enfances & Psy*, 13:26-40.
 30. **Droit-Volet, S. (2005).** Le long apprentissage du temps. *Pour la science*, 328:2-7.
 31. **Droit-Volet, S. (2010).** Stop using time reproduction tasks in a comparative perspective without further analyses of the role of the motor response on the temporal performance: the case of children. *The European Journal of Cognitive Psychology*, 22(1), 130–148.
 32. **Droit-Volet, S. (2013).** Time perception in children: A neurodevelopmental approach. *Neuropsychologia*, 51(2), 220-234.
 33. **Fontes, R., Ribeiro, J., Gupta, D. S., Machado, D., Lopes-Júnior, F., Magalhães, F., ... & Velasques, B. (2016).** Time perception mechanisms at central nervous system. *Neurology international*, 8(1).
 34. **Gibbon, J., et Church, R. M. (1984).** Sources of variance in an information processing theory of timing. Dans H. L. Roitblat, T. G. Bever & H. S. Terrace (Eds.), *Animal cognition* (pp. 465-488).
 35. **Goyette, C.H., Conners C.K., Ulrich R.F. (1978)** Normative data on revised Conners parent and teacher rating scales. *J. Abnorm. Child Psychol.*, n°6, p.221-236.
 36. **Hart, H., Radua, J., Mataix-Cols, D., & Rubia, K. (2012).** Meta-analysis of fMRI studies of timing in attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(10), 2248-2256.
 37. **Hart, H., Marquand, A. F., Smith, A., Cubillo, A., Simmons, A., Brammer, M., & Rubia, K. (2014).** Predictive neurofunctional markers of attention-deficit/hyperactivity disorder based on pattern classification of temporal processing. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 53(5), 569-578.
 38. **Haute Autorité de Santé, Recommandation de bonne pratique, (2014)**

Conduite à tenir en médecine de premier recours devant un enfant ou un adolescent susceptible d'avoir un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité.

39. **Huang, J., Yang, B. R., Zou, X. B., Jing, J., Pen, G., McAlonan, G. M., & Chan, R. C. (2012).** Temporal processing impairment in children with attention-deficit-hyperactivity disorder. *Research in developmental disabilities, 33*(2), 538-548.
40. **Hwang-Gu, S. L., & Gau, S. S. F. (2015).** Interval timing deficits assessed by time reproduction dual tasks as cognitive endophenotypes for attention-deficit/hyperactivity disorder. *PloS one, 10*(5), e0127157.
41. **Innocent Mutel, D. (2016).** *Comment améliorer les processus temporels dans la maladie de Parkinson ? Effets de l'apprentissage perceptivo-moteur* (Mémoire de maîtrise, Université Paul Sabatier)
42. **Marquet-Doléac, J., Soppelsa, R. & Albaret, J.M. (2005).** La rééducation du trouble déficit de l'attention/hyperactivité : approche psychomotrice. *Neuropsychology News*, vol.4, n°3, 94-101.
43. **Marquet-Doléac, J., & Soppelsa, R. (2009).** Le trouble déficit de l'attention/hyperactivité: aspects temporels du syndrome et place du psychomotricien. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 21*, 397-401.
44. **Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2014).** Time perception: the bad news and the good. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 5*(4), 429-446.
45. **Meck, W. H., & N'Diaye, K. (2005).** Un modèle neurobiologique de la perception et de l'estimation du temps. *Psychologie française, 50*(1), 47-63.
46. **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.
47. **Pine, A., Shiner, T., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2010).** Dopamine, time, and impulsivity in humans. *The Journal of Neuroscience, 30*(26), 8888-8896.
48. **Puyjarinet, F. (2011).** Perception du temps: aspects théoriques et perspectives cliniques en psychomotricité. *Entretiens de psychomotricité, 65-74.*
49. **Rommelse, N. N., Altink, M. E., Oosterlaan, J., Beem, L., Buschgens, C. J.,**
50. **Rubia, K., Noorloos, J., Smith, A., Gunning, B., Sergeant, J. (2003)** Motor timing deficits in community and clinical boys with hyperactive behavior: the effect of methylphenidate on motor timing. *J Abnormal Child Psychol*

2003;31(3):301–13.

51. **Rubia, K., & Smith, A. B. (2004).** The neural correlates of cognitive time management: a review. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 329–340.
52. **Rubia, K., Halari R., Christakou A. & Taylor E. (2009).** Impulsiveness as a timing disturbance : neurocognitive abnormalities in attention-deficit hyperactivity disorder during temporal processes and normalization with methylphenidate. *Philosophical transactions of the royal society*, 364, 1919-1931.
53. **Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., & Stemmer, P. J. (2001).** Effect of Interactive Metronome® training on children with ADHD. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.
54. **Smith, A., Taylor, E., Warner. R., Newman. S. & Rubia, K. (2002).** Evidence for a pure time perception deficit in children with ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, n°43, 529-542
55. **Sonuga-Barke, E.J., Taylor, E., Sembi, S., Smith, J. (1992).** Hyperactivity and delay aversion I: The effect of delay on choice. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 33(2):387-398.
56. **Sonuga-Barke, E. J. (2003).** The dual pathway model of AD/HD: an elaboration of neuro-developmental characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(7), 593-604.
57. **Sonuga-Barke, E.J. (2005).** Causal models of attention-deficit/hyperactivity disorder : from common simple deficits to multiple developmental pathways. *Biological Psychiatry*, 57, 1231-1238.
58. **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 attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 49(4), 345-355.
59. **Soppelsa, R., Marquet-Doléac, J., & Albaret, J. M. (2006).** Gestion du temps et contexte d'apprentissage chez l'enfant agité et distrait. *Entretiens de Psychomotricité 2006*, 29-36.
60. **Szelag, E., Dacewicz, A., Szymaszek, A., Wolak, T., Senderski, A., Domitrz, I., & Oron, A. (2015).** The application of timing in therapy of children and adults with language disorders. *Frontiers in psychology*, 6.
61. **Tarver, J., Daley, D., & Sayal, K. (2014).** Attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD): an updated review of the essential facts. *Child: care, health and development*, 40(6), 762-774.

62. **Toplak, M.E., Rucklidge, J.J., Hetherington, R., John, S.C.F., Tannock, R. (2003).** Time perception deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder and comorbid reading difficulties in child and adolescent samples. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(6): 888-903.
63. **Toplak, M.E., Tannock, R. (2005).** Time Perception: Modality and Duration Effects in Attention- Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Journal of Abnormal Child Psychology*, 33(5):639-654.
64. **Toplak, M. E., Dockstader, C., & Tannock, R. (2006).** Temporal information processing in ADHD: findings to date and new methods. *Journal of neuroscience methods*, 151(1), 15-29.
65. **Van der Meer, J. M., Hartman, C. A., Thissen, A. J., Oerlemans, A. M., Luman, M., Buitelaar, J. K., & Rommelse, N. N. (2016).** How 'core' are motor timing difficulties in ADHD? A latent class comparison of pure and comorbid ADHD classes. *European child & adolescent psychiatry*, 25(4), 351-360.
66. **Van Hulst, B. M., De Zeeuw, P., & Durston, S. (2015).** Distinct neuropsychological profiles within ADHD: a latent class analysis of cognitive control, reward sensitivity and timing. *Psychological medicine*, 45(04), 735-745.
67. **Zelanti, P. (2013).** *La perception du temps: Approche développementale et neuropsychologique*. Thèse de doctorat (Université Blaise-Pascale).

Résumé

Dans la littérature scientifique, les données en neuropsychologie et en neuro-imagerie mettent en évidence un déficit des différentes fonctions du timing chez les enfants TDA/H. Il semble donc important de mettre au point un outil d'évaluation des fonctions temporelles afin de pouvoir mesurer précisément et de manière complète le déficit de timing et ainsi innover dans la compréhension et dans la rééducation du trouble. Dans ce but, nous avons mis en place un protocole d'évaluation de l'ensemble des fonctions temporelles, basé sur le modèle neuropsychologique de Coull (2008). Ce protocole a été proposé à deux enfants TDA/H et 7 enfants contrôles. Les résultats, issus de l'analyse qualitative des données recueillies, suggèrent qu'une telle évaluation de l'ensemble des processus du timing est faisable chez l'enfant TDA/H et que le déficit du timing peut concerner tous les processus évalués. En effet, nous avons observé une différence qualitative dans la performance aux tests du timing entre les enfants TDA/H et les enfants non TDA/H, mais les processus déficitaires sont spécifiques à chaque enfant, probablement en lien avec leur caractéristiques personnelles.

Mots clés : TDA/H, timing, évaluation, implicite, explicite

Summary

In scientific literature, children with ADHD have deficits in all/different types of time-processing. It is therefore important to develop an assessment tool for time skills in order to fully and accurately measure the deficit. It could also help explore new perspectives in the understanding of ADHD, and reeducation. With these objectives in mind, we have implemented an evaluation protocol of all time functions, based on Coull's neuropsychological model (2008). This protocol was proposed to two children with ADHD and seven control children. The results from the qualitative analysis of the collected data, suggest that such an assessment of all timing functions is possible with ADHD children. Furthermore, the timing deficits can affect all assessed processes. Indeed, we observed a qualitative difference in the performance between ADHD children and the control children, but deficits are specific to each child, probably due to their personal characteristics.

Key words : ADHD, timing, assesment, implicit, explicit