

Faculté de Médecine Toulouse Rangueil

Institut de Formation en Psychomotricité

Une histoire de Temps....

Etat de l'art des processus temporels pour le psychomotricien



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

*« Le temps n'est jamais perdu
s'il est donné aux autres. »
Al Moutanabi*

Table des matières

Introduction.....	1
Partie I. Apport théorique.....	3
I. Les définitions des processus temporels.....	3
1. Préliminaires.....	3
2. Evolution des définitions.....	6
II. Les modèles théoriques du temps.....	11
1. Les modèles dynamiques.....	11
2. Les modèles cognitifs.....	12
III. Les bases neurales des processus temporels.....	14
1. Principales structures impliquées.....	14
a) Le cervelet.....	14
b) Les ganglions de la base.....	14
c) Le lobe frontal.....	15
d) Les lobes pariétaux et temporaux.....	16
2. Circuits neuronaux fonctionnels.....	16
IV. Ontogénèse des processus temporels.....	19
1. Du nourrisson à l'enfant de 5 ans.....	19
2. De l'enfant de 5 ans à l'âge adulte.....	21
3. Hypothèses explicatives du développement des processus temporels.....	22
V. Conclusion de la partie I.....	24
Partie II. Les processus temporels pour le psychomotricien.....	26
I. Le temps dans les habiletés motrices.....	26
1. Théories des actions motrices.....	27
a) Théorie cognitive.....	27
b) Théorie dynamique.....	31

2.	Pathologies : le TDC et la maladie de Parkinson.....	34
a)	Le trouble développemental de la coordination.....	34
b)	La maladie de Parkinson	36
II.	Le temps et les fonctions cognitives.....	39
1.	Lien entre processus temporels et fonctions cognitives.....	39
a)	Utilisation des modèles cognitifs des processus temporels.....	40
b)	Processus temporels et attentionnels	42
c)	Processus temporels et mnésiques	42
2.	Pathologie : le TDA/H.....	45
III.	Le temps et les habiletés sociales	47
1.	Émotions et interactions sociales	48
a)	Emotions	48
b)	Interactions sociales	51
2.	Pathologies : la dépression et le TSA.....	52
a)	La dépression majeure	53
b)	Le trouble du spectre autistique.....	54
IV.	Les processus temporels : abord thérapeutique	58
1.	L'évaluation des processus temporels.....	58
2.	Prise en charge des processus temporels.....	61
a)	Synchronisation sensori-motrice.....	61
b)	Gestion globale du temps	64
c)	Autres méthodes	64
V.	Conclusion de la partie II	65
	Conclusion.....	67
	Bibliographie.....	70

Introduction

« Le temps a un rôle privilégié dans l'adaptation de l'organisme à son environnement physique et social » (Gil et Droit-Volet, 2009)

Durant ces trois années de formation, nous avons abordé une multitude de notions nous permettant en tant que futur psychomotricien d'analyser, d'évaluer et de prendre en charge des troubles psychomoteurs qui affectent l'adaptation d'un individu dans sa dimension perceptivo-motrice. Pour autant, les processus temporels sont indispensables pour tous les comportements humains et sont nécessaires pour comprendre et s'adapter à son environnement. Ils sont présents dans les interactions sociales (compétences temporelles contenues dans les normes sociales : durée d'une conversation, rythme d'élocution fonction du contexte, gestuelle...), dans le langage (rythme d'élocution, rythme des mots de la phrase...), dans les activités motrices (planification temporelle d'un mouvement ou d'une séquence d'action) ainsi que dans les activités de la vie quotidienne. Les psychomotriciens que j'ai eu la chance de suivre en stage durant ma formation prennent pour la majorité en charge ces processus temporels mais un manque s'est fait ressentir concernant les soubassements théoriques de ces processus et de leurs liens avec les différentes compétences psychomotrices.

Le concept de processus temporels est difficile à cerner. Premièrement, le temps est difficile à définir, certes nous pouvons le définir comme la mesure de l'espacement de deux événements mais quand est-il lorsqu'il ne se passe rien ? Deuxièmement, nous parlons de perception du temps mais il n'existe pas d'organe sensoriel propre, il s'agit de l'intégration et du traitement complexe d'un flux multi-sensoriel. Finalement, cette notion de concept du temps et de perception temporelle ne suffisent pas pour définir les processus temporels puisqu'il est également mis en avant la présence de processus temporels moteurs.

Les psychomotriciens sont amenés à travailler sur des compétences motrices et cognitives qui sont intimement liées aux processus temporels (actes moteurs, habiletés sociales, fonctions exécutives). L'objectif de ce mémoire est de faire un tour d'horizon de la littérature scientifique en lien avec les processus temporels afin d'en définir les contours théoriques (définitions, mécanismes), de faire des liens entre ces processus temporels et les fonctions psychomotrices et finalement de pointer l'importance d'évaluer et de prendre en charge ces processus temporels pour le psychomotricien.

Le premier temps de ce mémoire est dédié à la partie théorique. Nous y abordons la question des définitions de différents processus temporels, les substrats neurologiques supports et les modèles théoriques explicatifs. Un dernier point de cette partie concerne l'ontogénèse de ces processus temporels.

Le deuxième temps de ce mémoire est consacré aux liens entre les processus temporels avec différents domaines psychomoteurs. Nous déroulons successivement la problématique des habiletés motrices, des fonctions cognitives et des habiletés sociales. Pour chacun de ces points, nous rapportons une partie sur les théories explicatives et une partie sur les pathologies tel que le trouble du spectre autistique, le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, le trouble développemental de la coordination (anciennement Trouble de l'Acquisition de la Coordination du DSM 4 et Trouble Spécifique du Développement Moteur de la CIM10), la dépression majeure ou la maladie de parkinson.

Partie I. Apport théorique

Contrairement aux caractéristiques spatiales qui sont permanentes, les caractéristiques temporelles sont plus difficilement saisissables en raison du caractère éphémère du temps. Les chercheurs au fur et à mesure des années et selon leurs domaines d'études ont défini les processus temporels suivant différentes manières. Il est dès lors primordial de faire, dans un premier temps, un tour d'horizon sur ces différentes définitions théoriques des processus temporels. Dans un deuxième temps, nous aborderons les substrats neurologiques impliqués dans ces différents processus temporels. Dans un dernier temps, nous donnerons quelques notions sur l'ontogénèse de ces processus chez l'enfant.

I. Les définitions des processus temporels

Depuis le début du 19^{ème} siècle, les scientifiques s'intéressent aux différentes facettes des processus temporels et de leur lien avec les différentes activités de la vie quotidienne. Les définitions des processus temporels ont ainsi évolué et se sont multipliées aux fils des ans en fonction des études réalisées et de leurs objectifs.

1. Préliminaires

L'organisation temporelle peut se définir suivant deux grandes catégories : l'ordre et la durée. L'ordre représente la situation chronologique d'un évènement par rapport aux autres : deux évènements peuvent ainsi être simultanés ou consécutifs. L'ordre peut être issu du hasard ou être fondé sur un lien logique (ordre naturel ou issu d'une logique préalable). Par exemple, lors d'un saut, chaque mouvement (suspension) détermine le mouvement suivant (réception) et tire son existence de celui qui précède (impulsion).

La durée représente la longueur temporelle d'un évènement. Il peut être question ici de temps subjectif (psychologique) ou de temps réel (physique).

Le rythme est défini comme une succession de stimuli à durée propre et d'intervalles temporels (il s'agit d'une combinaison de l'ordre et de la durée). Le rythme ne peut être appréhendé que s'il est perçu comme une unité d'éléments successifs qui se répètent. Cette unité comporte des stimuli d'une certaine durée, entrecoupés d'intervalles plus ou moins longs qui ont un ordre. L'unité perceptive est possible si les stimuli sont de même nature (auditive ou visuelle),

homogènes et dans une certaine limite temporelle. Pour des stimuli brefs, si la durée des intervalles inter-stimuli est constante on parle alors de tempo (pulsation d'un métronome ou pulsation régulière qui émerge d'un rythme). Ce tempo peut alors être défini par la durée de l'Intervalle Inter-Stimuli (IIS) ou par le nombre de Battement Par Minute (BPM). Le schéma de la Figure I-1 reprend l'explication du tempo, du rythme et les définitions de BPM et IIS.

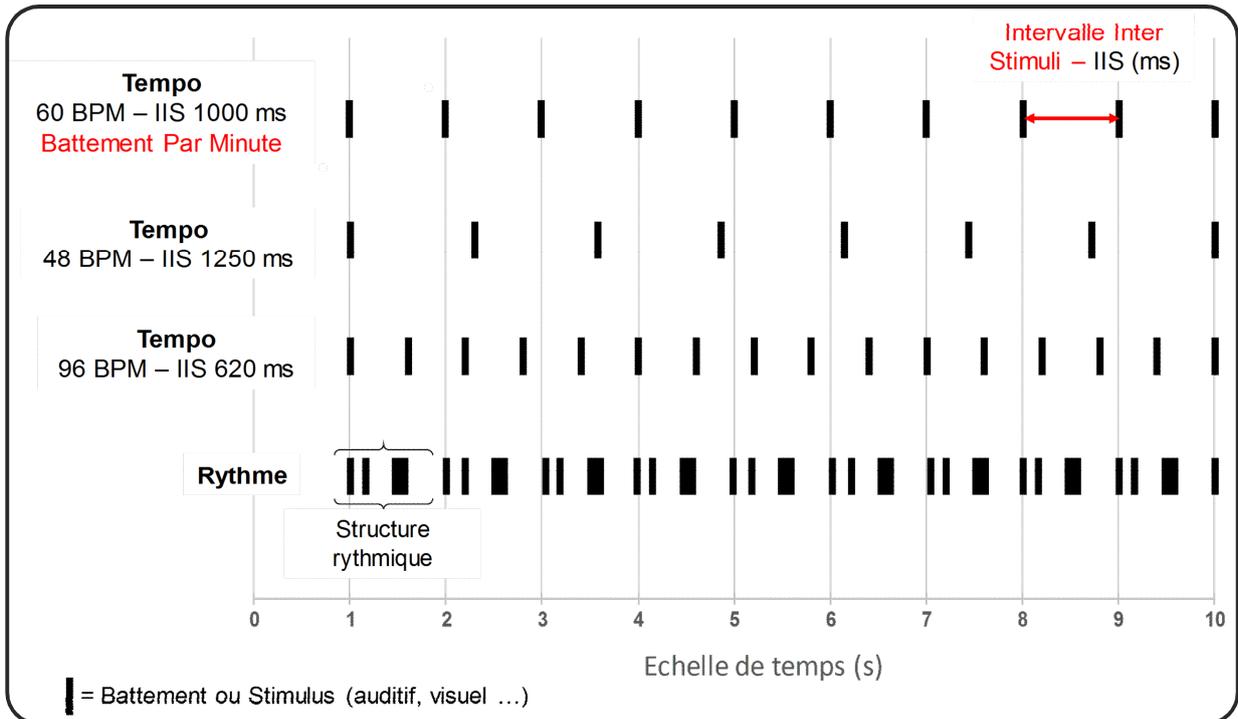


Figure I-1. Schéma explicatif du tempo, du rythme et des différentes définitions possibles (Intervalle Inter Stimuli et Battement Par Minute).

Les processus temporels comprennent donc l'ordre et la durée des événements qui peuvent être étudiés distinctement ou de manière concomitante via l'utilisation de rythme. Les auteurs sont alors amenés à différencier deux voies d'études : l'action – le timing moteur et la perception – la perception temporelle ou timing perceptif.

Le timing moteur regroupe toute action ou mouvement d'une partie ou de l'ensemble du corps où l'organisation temporelle est prépondérante (attraper une balle en plein vol, réalisation d'un enchaînement gymnique, mouvements cycliques tel que marcher, taper régulièrement avec l'index ou le pied...).

Tandis que la perception temporelle est définie comme un processus actif d'appréciation qualitative ou quantitative des caractéristiques d'ordre et/ou de durée d'un stimulus, d'un

évènement, d'une action. Elle regroupe donc un grand nombre d'aptitudes telles que celles de discriminer, comparer, reconnaître, reproduire et estimer. Une fois encore, le caractère évanescent du temps rend son étude particulièrement difficile, les éléments centraux de l'étude ne sont pas stables, permanents et font donc rapidement appel à d'autres fonctions cognitives telles que la mémoire et l'attention.

A propos de la question de perception temporelle, il est important de souligner qu'il n'existe pas d'organe sensoriel spécifique à la perception du temps comme tel est le cas pour la perception visuelle, auditive, haptique ou olfactive. La perception temporelle utilise donc indifféremment les différents canaux sensoriels (vision, tact, audition, proprioception). La perception spatiale, exempte également de canal sensoriel spécifique, utilise prioritairement la vision comme source d'information spatiale. Nous pouvons donc nous poser la question de la présence d'un canal sensoriel dominant pour la perception temporelle. L'audition, le tact et la proprioception (sensibilité musculaire et articulaire) possèdent trois avantages par rapport à la vision :

- une réaction plus rapide et une meilleure acuité temporelle (détection de discontinuité entre deux stimuli perçue uniquement si l'intervalle libre est supérieur à 0,01 seconde pour le tact et l'audition, 0,05 seconde pour la proprioception et 0,10 seconde pour la vision) (Fraisse, 1967).

- l'encodage est sériel ou successif pour l'audition, le tact et la proprioception alors qu'il est global ou parallèle pour la vision afin de procurer une image d'ensemble cohérente. Or pour la perception temporelle l'encodage sériel est préférable (Paoletti, 1999).

- du fait de cette modalité d'encodage, l'audition, le tact et la proprioception favorisent l'orientation de l'attention vers des indices temporels (succession des actions ou évènements les uns par rapport aux autres) tandis que la vision oriente l'attention vers d'autres caractéristiques tel que l'espace (Paoletti, 1999).

De par le grand nombre de composantes et les différents modes d'appréhension, la définition des processus temporels s'impose comme multiple et complexe. Dans ce contexte, les auteurs ne cessent de faire évoluer les définitions et les modes d'appréhension des différents processus temporels.

2. Evolution des définitions

La Psychologie du temps (Fraisse, 1967) est une référence historique incontournable dans laquelle Fraisse étudie les processus temporels ainsi que leur développement avec l'âge. Dans cet ouvrage, l'auteur définit et étudie les processus temporels suivant deux principales catégories :

- le conditionnement au temps au travers des études de conditionnement opérant (individu effectuant un comportement) de Pavlov et Skinner.

- la perception du temps qui est pour lui décomposée en deux étapes distinctes : la perception de l'ordre (d'évènements ou d'intervalles), la perception d'intervalle temporel (perception de la durée).

Concernant l'estimation du temps (appréciation de la durée), Fraisse évalue la précision et la variabilité pour différentes tâches : le jugement subjectif de stimuli (longs ou courts), la comparaison de stimuli, l'évaluation quantitative (mise en relation du temps psychologique avec le temps physique), la reproduction de stimuli, la production de stimuli.

Par la suite, Stambak (1951) étudie le développement des processus temporels chez l'enfant et leur lien avec les activités motrices volontaires (coordination motrice), involontaires (stéréotypies) et les troubles chez les enfants atteints de dyslexie au travers de 2 modalités principales :

- le tempo moteur spontané (l'individu est invité à taper le plus régulièrement possible avec un crayon sur la table).

- la reproduction et la conservation de pattern rythmique suivant différentes modalités (rythme à reproduire par imitation, par lecture de rythme, en lien avec une chanson connue).

Dans la fin du XX^{ème}, il apparaît un nouveau découpage plus détaillé des processus temporels suivant les deux voies suivantes : le timing moteur (réponse motrice) et le timing perceptif (Penhune et al, 1998 ; Rubia, 2006 ; Toplak, 2006). Le Tableau I-1 rapporte les différents processus temporels utilisés dans la littérature scientifique.

Processus temporels		Essais possibles pour l'évaluation (description succincte)
Rubia, 2006	Toplak, 2006	
Timing moteur	Tapping	Tempo moteur spontané : mesure le tempo produit spontanément par une personne et sa variabilité dans le temps.
		Synchronisation ± continuation : mesure de la précision de synchronisation et variabilité ; Reproduction de rythme : mesure de l'intervalle inter-tapping pour la précision et la variabilité ;
Timing perceptif	Jugement temporel (acuité temporelle)	Perception de deux stimuli comme distincts ou comme un stimulus unique
	Discrimination de durée	Comparaison de durée : présentation de deux stimuli et dire si le second est plus long ou plus court Mesure du seuil de discrimination pour percevoir une différence de durée et variabilité
	(Re)Production de durée	Production ou reproduction de durée verbale ou motrice
	Estimation verbale	Estimation du temps absolu (temps physique) de durée
	Anticipation/prédiction	Tâche d'anticipation et réponse motrice ou verbale

Tableau I-1. Processus temporels issus de la littérature scientifique (Rubia, 2006 et Toplak, 2006) et essais en lien avec chacun de ces processus ; Pour chacune de ces tâches les stimuli peuvent être de différentes modalités (principalement visuel et auditif).

Pour ces deux catégories, timing perceptif et moteur, les auteurs différencient des traitements temporels en fonction de la durée. Ils s'accordent à mettre en avant une limite aux alentours de la seconde (Wiener et al, 2010). Les processus temporels inférieurs à la seconde seraient sollicités pour des plans d'actions motrices plus automatiques et ceux supérieurs à la seconde feraient plus appel aux contrôles cognitifs (attention et mémoire).

Dans les études scientifiques des processus temporels utilisées pour ce mémoire, il est rarement le cas d'études avec des durées longues (heures, jours, année). Rubia (2006) nomme ces processus de relais inter-temporels et peuvent être appréhendés, entre autres lors de tâches de récompense avec délai : la personne doit faire un choix du délai de récompense sachant qu'il y a une variation de l'importance de la récompense avec la longueur du délai d'obtention.

Actuellement, les notions de temps implicite et explicite amènent un nouvel éclairage sur l'ensemble de ces processus (Zelaznick et al, 2002 ; Coull et Nobre, 2008 ; Wiener et al 2010a, 2010b ; Piras et al, 2014). La dissociation entre ces deux notions est principalement liée au fait que l'attention soit directement orientée vers le temps ou pas. Le timing explicite concerne l'ensemble des tâches pour lesquelles le but est d'estimer intentionnellement la durée. Le timing implicite se rapporte lui aux tâches réalisables via l'utilisation d'informations temporelles mais sans objectif délibéré d'estimation temporelle. La Figure I-2, réalisée d'après le schéma de Coull et Nobre (2008), rapporte cette nouvelle taxonomie fonctionnelle des processus temporels.

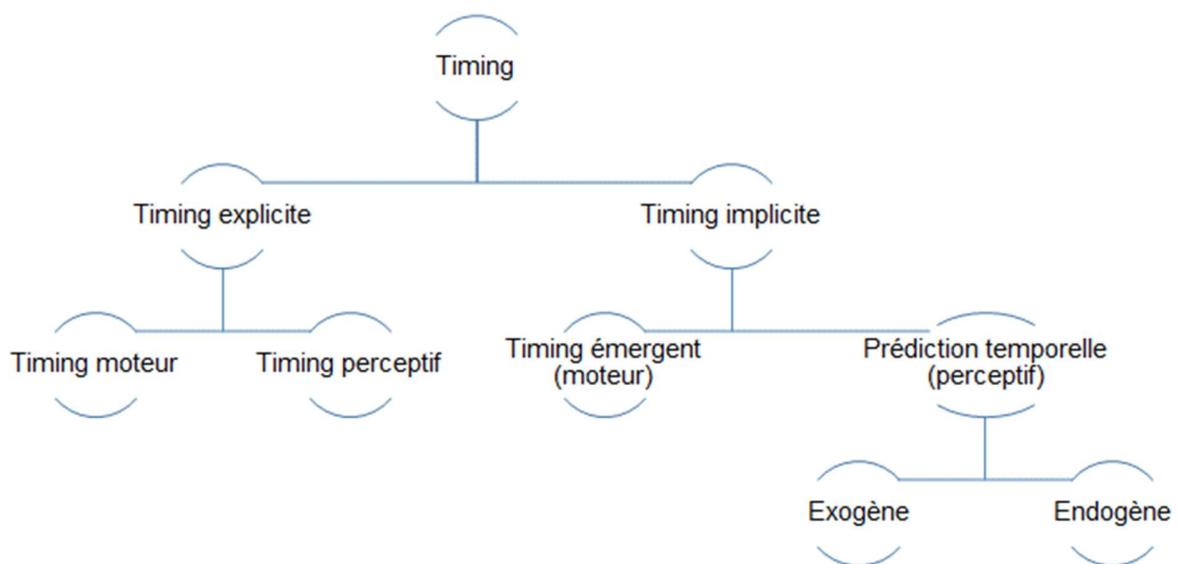


Figure I-2. Taxonomie fonctionnelle des processus temporels d'après le schéma de Coull et Nobre (2008)

L'ensemble des processus décrit précédemment dans le Tableau I-1 se retrouvent au sein de cette nouvelle taxonomie mais répartis dans les différentes catégories : timing explicite/implicite ; timing moteur/perceptif.

- *Timing explicite*

Le timing explicite est recruté pour les tâches qui ont pour but, clairement formulé, l'estimation ou la production temps. Dans cette catégorie, les auteurs discernent le timing perceptif du timing moteur. Le timing perceptif peut être évalué par :

- une tâche de discrimination temporelle pour laquelle l'individu va délibérément comparer la durée du stimulus à une (ou des) durée(s) standard(s) mémorisée(s) préalablement et qualifier

cette durée par rapport au(x) standard(s). Il peut s'agir de tâche de bisection temporelle (deux durées standards sont présentées dans une première phase et la phase test consiste alors à dire si les durées tests sont plus proches du standard court ou du standard long) ou de généralisation temporelle (une durée standard est présentée puis le sujet doit dire si la durée test est identique, plus courte ou plus longue que le standard).

- l'estimation de durée prospective ou rétrospective (évaluer la durée d'un évènement passé ou à venir). Cette propriété est importante lors d'action de planification ou de la réalisation d'un planning.

Le timing explicite moteur peut être appréhendé par :

- des tâches de production ou de reproduction temporelle qui consistent à réaliser une action (appuyer sur un bouton par exemple) pendant une durée définie ou similaire à celle présentée préalablement pour la reproduction.

- des tâches de synchronisation et continuation de tempo ou de rythme en utilisant une partie du corps (taper avec l'index, la main ou le pied par exemple) ou avec une coordination dynamique générale (marche ...).

- Timing implicite

Le timing implicite est engagé dans les tâches à but non temporel. Une information sensori-motrice temporellement structurée peut alors être utilisée pour prédire implicitement l'apparition d'un évènement ou une action motrice (prédiction d'apparition d'un stimulus ou régularité temporelle pour le contrôle moteur dynamique par exemple). Pour la prédiction temporelle (timing perceptif implicite), l'utilisation de repères temporels permet d'augmenter la précision et/ou la vitesse des actions du fait d'une meilleure anticipation de l'évènement (Coull et Nobre, 2008). Ces repères temporels peuvent être :

- exogènes, non-intentionnels et indicés directement par les paramètres associés à la dynamique du stimulus. Par exemple, lorsque l'on traverse une route, l'information temporelle contenue dans le déplacement de la voiture nous indique le temps que nous avons pour traverser la route ou lorsque nous interceptons un ballon l'information temporelle contenue dans le déplacement du ballon nous permet d'ajuster notre action. Cette catégorie peut être évaluée par des tâches de prédiction du temps de collision (prédiction de trajectoire spatio-temporelle). L'individu utilise l'information temporelle liée à la vitesse du stimulus pour prédire sa localisation finale.

- endogènes et induits par l'utilisation d'indices informatifs sur la régularité d'intervalles temporels (indices mémorisés lors d'expériences antérieures). Par exemple, nous pouvons prédire le changement de couleur d'un feu de signalisation en lien avec notre expérience antérieure ou un coureur peut optimiser son temps de réaction au départ de la course et son impulsion en anticipant le moment de départ en fonction du tempo des premiers bips précédents le coup de feu final. Cette catégorie de timing perceptif implicite utilisant une prédiction temporelle endogène peut être reliée au conditionnement temporel abordée par Fraisse (1967). Cette catégorie peut être évaluée par des tâches de prédiction indicée et sérielle :

(i) pour les tâches de prédiction temporelle indicée, l'individu est soumis à une première phase d'association entre un indice visuel (carré de couleur par exemple) et une durée. Dans une deuxième phase, l'individu utilise implicitement cette information pour prédire l'apparition d'un stimulus et appuyer le plus rapidement sur un bouton. La mesure du temps de réaction (durée entre l'apparition du stimulus et l'appui sur le bouton) renseigne sur la précision de la prédiction de la durée mémorisée implicitement durant la phase d'association.

(ii) pour les tâches de prédiction de séries rythmiques, 4 patterns temporels rythmiques sont présentés successivement et l'individu doit dire si le dernier est identique ou différent des trois premiers.

Le timing implicite moteur ou timing émergent est lié au processus de contrôle moteur, il représente la régularité temporelle d'une action motrice. Il peut être appréhendé via :

- le tempo moteur spontané obtenu en demandant à l'individu de produire un geste de manière continue (taper du doigt, de la main ou du pied).

- la régularité temporelle émergente d'une action motrice continue (marche, dessin de cercles continus...).

Cette dernière classification a pour avantage d'être la plus complète et de regrouper l'ensemble des processus temporels étudiés précédemment. Elle reste cependant discutable par rapport à la dichotomie timing explicite et timing implicite dont la frontière n'est pas très franche. Il est en effet parfois difficile de dire pour une tâche donnée si elle est uniquement implicite ou explicite.

II. Les modèles théoriques du temps

Parallèlement au développement des définitions des processus temporels, les auteurs cherchent à définir un modèle théorique de la perception du temps. Initialement, ces modèles visent principalement les processus temporels perceptifs explicites mais ils peuvent être mis en lien avec les autres types de timing. Les modèles théoriques des processus temporels peuvent être classés dans deux catégories : les modèles dynamiques et les modèles cognitifs (modèles d'horloge centrale).

1. Les modèles dynamiques

Le modèle de l'espace de stockage d'Ornstein (1969), par exemple, ne repose sur aucune instance cognitive telle que l'horloge centrale des modèles cognitifs. La perception du temps est expliquée par l'accumulation d'évènements non-temporels, de leur nombre et de leur complexité (en lien avec l'espace en mémoire occupé par ces évènements).

Ce modèle a par la suite inspiré de nombreux autres modèles dont le modèle des attentes dynamiques (Jones et Boltz, 1989). L'émergence de régularités physiques dans l'environnement (musique, parole, locomotion...) donne des indices sur le moment d'apparition d'évènements futurs. Ainsi, il existerait deux modes d'attente dynamique de l'observateur (orientée vers le futur ou analytique) selon le niveau de prédiction temporelle de l'évènement :

- un évènement fortement prédictible (attention orientée vers le futur) est attendu à un moment donné t (en lien avec l'expérience antérieure et la hiérarchisation à plusieurs niveaux de régularités temporelles) s'il a lieu avant ou après ce temps t , il sera alors respectivement jugé plus court ou plus long.

- un évènement faiblement prédictible requiert une attention analytique. La personne ne pouvant pas anticiper l'évènement futur, elle porte son attention sur des éléments adjacents à la situation afin de tenter d'organiser une information non structurée. En fonction de la tâche, les stratégies seront différentes (complexité des évènements adjacents, compter le nombre d'évènements, de changements...) et impacteront le jugement temporel.

Ce modèle permet de prendre en considération des évènements ou situations à forte cohérence temporelle (langage, coordination motrice telle que la marche...). Il permet aussi d'expliquer l'attente prioritaire et spontanée vers le tempo moteur spontané : la personne va prioritairement traiter les informations possédant un tempo proche de son tempo moteur spontané

et elle pourra se synchroniser d'autant plus facilement que le tempo des stimuli est proche de son tempo moteur spontané (Bobin-begue, 2002 ; Grondin, 2010). Effectivement, il est observé expérimentalement que lors d'essais de synchronisation, la courbe de variabilité de l'erreur est en forme de U avec un minimum proche du tempo moteur spontanée de la personne (pour une revue voir Repp et Su, 2013 ; Delevoye-Turrell et al, 2014).

2. Les modèles cognitifs

Les modèles cognitifs ou encore modèles d'horloge centrale proviennent à l'origine des travaux de Triesmann (Triesmann, 1963) rapidement développés par Gibbon et Church (1984). Triesmann (1963) présente la perception du temps suivant trois niveaux de jugement temporel : une horloge qui mesure le temps écoulé (influencée par le niveau d'éveil et la motivation), la mémoire qui emmagasine les différentes durées et un processus décisionnel qui apporte un jugement temporel.

Ce modèle a inspiré le modèle de l'horloge interne (Gibbon et Church, 1984) présenté sur la Figure I-3. Le fonctionnement de l'horloge se fait en plusieurs temps : le pacemaker émet une pulsation régulière (en lien avec le niveau d'éveil), l'accumulateur emmagasine les pulsations du pacemaker durant l'évènement en cours, la mémoire de travail maintient l'information de la durée pour la comparer avec les durées en mémoire de référence et finalement le comparateur, joue le rôle de processus décisionnel et apporte son jugement temporel. Ce modèle a pour principale avancée d'avoir un interrupteur entre le pacemaker (horloge) et l'accumulateur. Il permet d'expliquer la modulation du nombre d'impulsions en fonction de l'attention apportée au temps (perception du temps étroitement liée au niveau d'attention allouée). Les erreurs dans la perception du temps proviennent des différents niveaux de l'horloge : pacemaker (lien avec la vigilance), compteur (lien avec la mémoire de travail), interrupteur (lien avec l'attention), comparateur (lien avec la mémoire de référence et processus de décision). La variance des erreurs des jugements temporels (lors de la discrimination, d'estimation ou de production de durées par exemple) est proportionnelle aux durées concernées ce qui est à l'origine de l'appellation de « modèles scalaires » du temps (Triesmann, 1963).

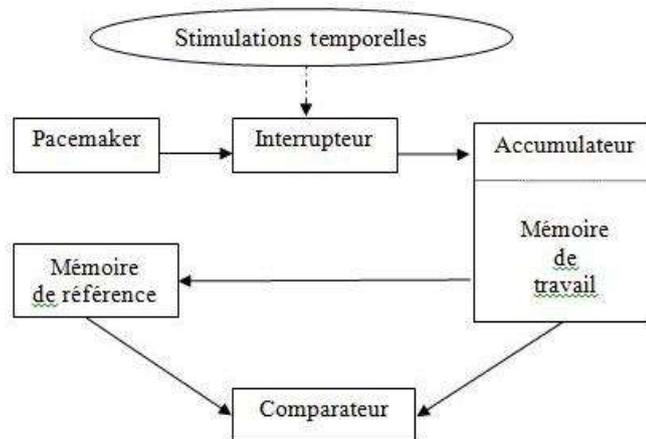


Figure I-3. Illustration du modèle de l'horloge interne (Gibbon et Church, 1984).

Aujourd'hui de nombreux modèles s'appuient sur cette base :

- le modèle de Zakay et Block (1997) propose le « modèle de la porte attentionnelle » basé en partie sur le modèle de l'horloge interne. La porte attentionnelle en amont de l'interrupteur (Figure I-3) permet de mettre l'attention au temps comme pivot central de la perception temporelle, permettant ainsi de mieux expliquer les différences entre la perception temporelle prospective et rétrospective. Il permet aussi d'intégrer dans la perception temporelle, en fonction des situations, la gestion des informations temporelles et non temporelles.

- le modèle « *striatal beat frequency* » de Matell et Meck (2000) se veut plus réaliste sur le plan neurobiologique. Selon ce modèle, l'ensemble du réseau cortico-striato-thalamo-cortical assure la base du traitement de l'information temporelle. Chaque durée est associée à un pattern spécifique d'activité oscillatoire regroupant les oscillateurs (neurones déchargeant à une fréquence propre entre 8 et 12 HZ) qui ont déchargé de façon synchrone au début et à la fin de cette durée. Le striatum joue alors le détecteur de coïncidences entre le pattern de la durée perçue et celui associé à une autre durée de référence (stockée préalablement par apprentissage). Ce modèle permet d'abandonner la question de la base de temps régulière du pacemaker (problème de stockage de la mémoire de référence) au profit d'un système de coïncidences avec différents patterns d'oscillation assurant le codage des durées.

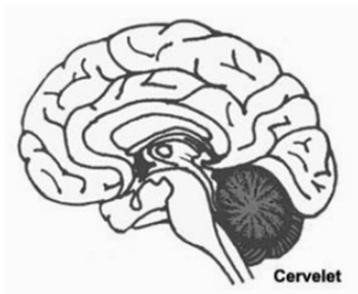
Même si aujourd'hui l'idée d'une horloge interne est fortement remise en question, les modèles cognitifs permettent d'expliquer l'implication des différents substrats neurobiologiques sollicités. Ils permettent également d'expliquer en partie la précision et la variabilité observées lors de tâche de timing explicite ainsi que la compréhension de structures temporelles plus complexes (Matell et Meck, 2000).

III. Les bases neurales des processus temporels

Il existe dans la littérature scientifique de nombreux articles traitant des bases neurales des processus temporels. Les chercheurs utilisent différents moyens et techniques (étude post-lésionnelle, maladie neurologique, IRM¹, EEG²) mais aussi différentes tâches temporelles (timing explicite/implicite, moteur/perceptif, stimulus auditif ou visuel...). L'objectif de ce paragraphe est de faire émerger les principales structures impliquées dans les processus temporels et de faire un lien avec le timing implicite et explicite.

1. Principales structures impliquées

a) Le cervelet



Le cervelet est l'une des structures qui a fait l'objet des premiers centres d'intérêts dans l'étude des processus temporels mais elle est aussi celle qui présente le plus de controverse. Le cervelet semble être principalement impliqué dans les tâches temporelles perceptives inférieures à la seconde (Lewis et Miall, 2003a, 2003b ; Wiener, 2010a ; Koch et al, 2009) ainsi que dans les tâches temporelles motrices (Penhune et al, 1998 ; Ivry, 1989 cité par Coull 2011). D'après Buhusi et Meck (2005), le cervelet serait plus impliqué dans un système automatique de chronométrage de durées discrètes regroupant principalement les activités motrices et les durées courtes. La zone du cervelet activée est variable en fonction de la nature de la tâche (perceptive ou motrice), du but (implicite ou explicite) et de la modalité de stimulus (auditif, visuel ou tactile) (Coull et al, 2011, Koch et al, 2009, Hayashi et al, 2014).

b) Les ganglions de la base

Les ganglions de la base (Figure I-4) ont également un rôle prépondérant dans les processus temporels. Les nombreuses études sur les patients atteints de maladie de Parkinson (diminution de la dopamine de la voie nigrostriatale) montrent que ces personnes présentent principalement

¹ L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle permet d'obtenir des informations sur les zones actives du cerveau pendant une tâche cognitive (en lien avec le taux d'oxygénation du sang) avec une très bonne résolution spatiale (de l'ordre du mm) et une bonne résolution temporelle (de l'ordre de la s).

² L'ElectroEncéphaloGraphie est une mesure directe de l'activité électrique du cerveau, elle présente une très bonne résolution temporelle (de l'ordre de la ms) et une bonne résolution spatiale (allant de quelques mm au cm).

un déficit du timing explicite perceptif et moteur (estimation du temps verbale, reproduction de durée) (Wiener, 2010a ; pour une revue voir Coull 2011 ; Grondin 2010). Les études de neuro-imagerie fonctionnelle ont permis de montrer que les structures les plus activées étaient le noyau caudé et le putamen (formant le striatum) (Penhune et al, 1998 ; Wiener, 2010a ; Grondin, 2010 ; Coull et al, 2011). Ces structures semblent activées quelles que soient les durées, inférieures ou supérieures à la seconde (Wiener, 2010a ; Grondin, 2010 ; Coull et al, 2011, Cope et al, 2014). Dans le modèle de l'horloge interne, les neurones du striatum auraient un rôle central de pacemaker ou de détecteur de coïncidences (Mattel et Meck, 2000). Certains auteurs leur confèrent ainsi un rôle primordial dans l'encodage des durées (Harrington, 1999 cité dans Grondin, 2010).

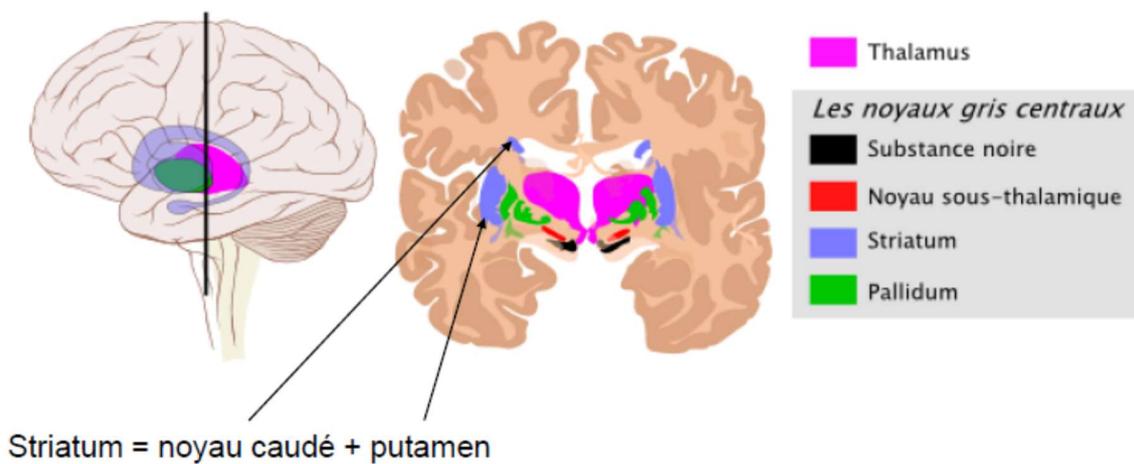
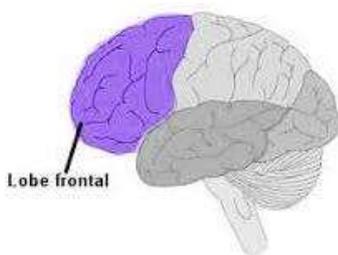


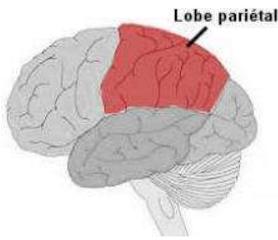
Figure I-4. Présentation des ganglions de la base (ou noyaux gris centraux) sur une vue latérale et une coupe transversale du cerveau.

c) Le lobe frontal



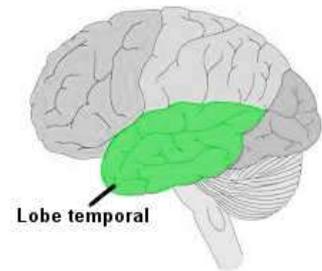
Dans le lobe frontal, les cortex préfrontaux dorso latéral et ventro latéral de l'hémisphère droit sont associés à la perception du temps supérieure à la seconde souvent en lien avec des processus attentionnels et la mémoire de travail ainsi qu'avec des processus décisionnels (Lewis et Miall, 2003b ; Coull et Nobre, 2008 ; Koch et al, 2009 ; Coull et al, 2011 ; Grondin, 2010 ; Piras et al, 2014). Par ailleurs, les aires motrices supplémentaire et pré-supplémentaire font l'objet de nombreuses études sur la perception temporelle supérieure et inférieure à la seconde, qu'il s'agisse de timing moteur ou perceptif (Lewis et Miall, 2003b ; Coull et Nobre, 2008 ; Wiener, 2010a ; Teki et al, 2011 ; Piras et al, 2014).

d) Les lobes pariéaux et temporaux



Dans une moindre mesure, une partie du lobe pariétal serait activée durant les tâches temporelles (implicite et explicite) (Koch et al, 2009 ; Lewis et Miall, 2003b ; Wiener 2010b ; Piras et al, 2014). Pour ces auteurs, cette activation pariétale serait en lien avec les processus attentionnels et mnésiques.

Une petite partie du lobe temporal est également activée durant des tâches temporelles avec des stimuli visuel et auditif. Des auteurs ont mis en évidence la présence d'une image auditive durant le traitement de tâches temporelles quelle que soit la nature du stimulus (Zatone, 1996 cité par Penhune et al, 1998 ; Rao et al, 1997 ; Piras et al, 2014). Ce résultat expliquerait en partie que le stimulus auditif est plus adapté (plus grande précision et moins grande variabilité dans le traitement) pour les processus temporels que le stimulus visuel (Fraisse, 1967 ; Repp et Su, 2013).



2. Circuits neuronaux fonctionnels

Pour faire un lien entre les différents substrats neurologiques abordés précédemment les auteurs s'intéressent aux circuits neuronaux qui sous-tendent les différents processus temporels. Tout d'abord, Piras et Coull (2011) ont montré que le timing implicite comme le timing explicite avaient des propriétés scalaires laissant penser à une représentation neurologique similaire. La confrontation de certains articles met effectivement en avant que la différenciation ne semble pas si nette puisqu'en fonction de la tâche, du type de stimulus et de la durée les résultats obtenus peuvent diverger. Par ailleurs, il est parfois difficile d'assurer que dans la définition même de la tâche temporelle proposée seul le timing explicite ou implicite est concerné. La méta-analyse de Wiener et al (2010a et 2010b) rapporte une variabilité dans les structures neurologiques engagées en fonction du contexte de la tâche et la difficulté de différencier pleinement une tâche temporelle purement implicite ou explicite des autres tâches cognitives associées (mémoire, attention). Koch et al, 2009 proposent en ce sens un schéma (Figure I-5) montrant les liens de dépendance entre les différentes structures corticales et sous-corticales et leurs implications en fonction du contexte de la tâche (durée et charge cognitive associée).

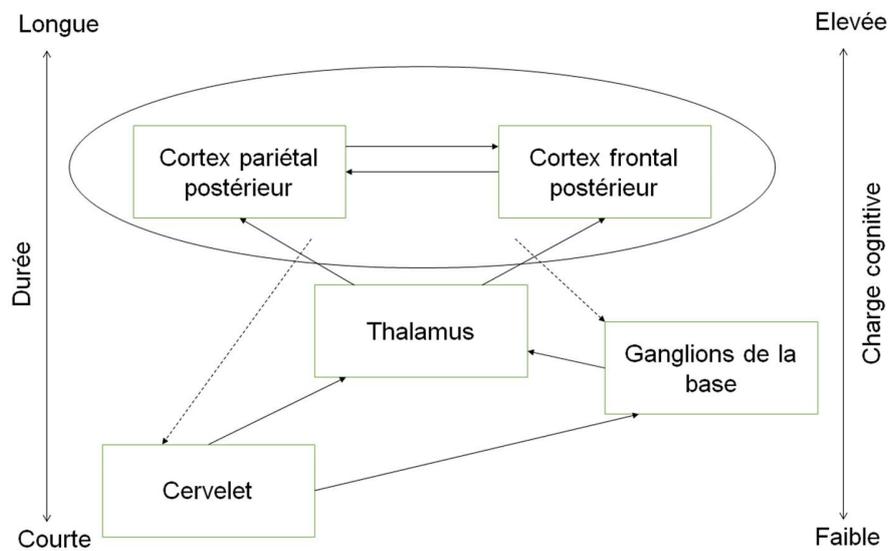


Figure I-5. Schéma des connexions entre les structures corticales et sous-corticales impliquées dans les processus temporels en fonction du contexte de la tâche (durée et charge cognitive allouées). Adapté d'après Koch et al, 2009.

Nonobstant cette difficulté de différenciation entre les timings explicite et implicite, de grandes tendances semblent apparaître au sein de la littérature quant à leurs représentations neurologiques. Les auteurs s'accordent sur le fait que le timing explicite implique les ganglions de la base, le cortex frontal, le cortex temporal et le cervelet en fonction du contexte spécifique de la tâche. Le timing implicite active lui aussi différentes régions mais systématiquement l'aire prémotrice de l'hémisphère gauche, le cervelet et le cortex pariétal (l'ensemble de ces aires sont rapportées sur la Figure I-6 adapté de Piras et al (2014)). Les auteurs laissent supposer une spécification hémisphérique plutôt à gauche pour l'implicite et à droite pour l'explicite (Coull et Nobre, 2008 ; Coull et al, 2013 ; Piras et al, 2014). Actuellement, les auteurs tendent à émettre une hypothèse de l'existence de deux circuits neuronaux distincts – Striato-thalamo-cortical et cérébello-thalamo-cortical (présentés sur la Figure I-7) pour le timing explicite et implicite, respectivement. La non-corrélation de ces deux timings relevés dans la littérature vient appuyer la présence de ces deux circuits indépendants qui relient les différentes zones sollicitées (Zelaznick et al, 2002 ; Lewis et Miall, 2003b ; Coull et Nobre, 2008 ; Wiener et al 2010a, 2010b ; Piras et Coull et al, 2011 ; Coull et al, 2013 ; Piras et al, 2014).

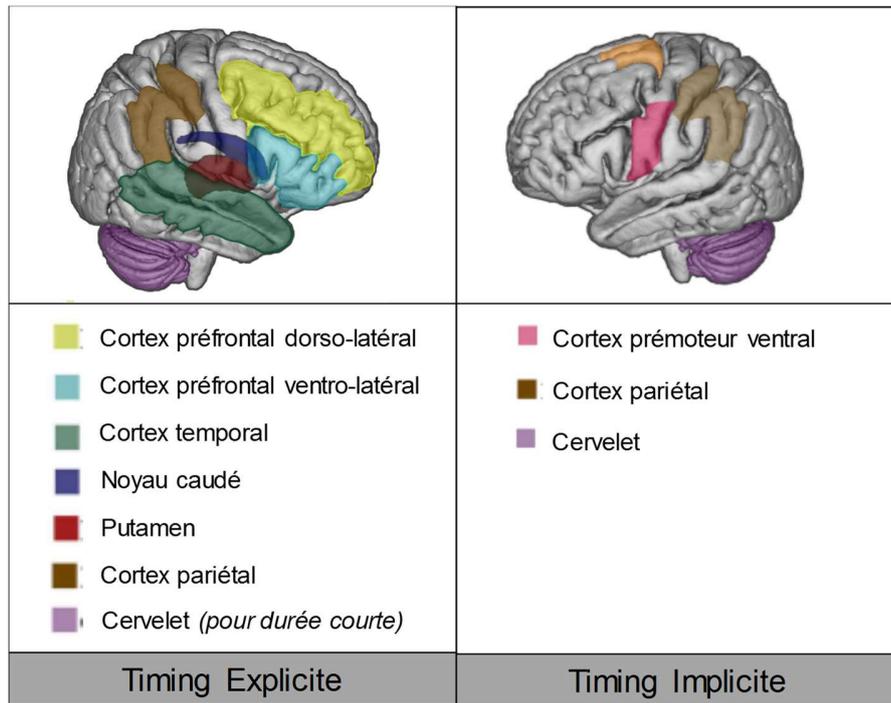


Figure I-6. Régions corticales et sous-corticales impliquées dans l'estimation temporelle - timing explicite (hémisphère droit) et dans la prédiction temporelle implicite (hémisphère gauche). Schéma traduit et adapté d'après Piras et al, 2014.

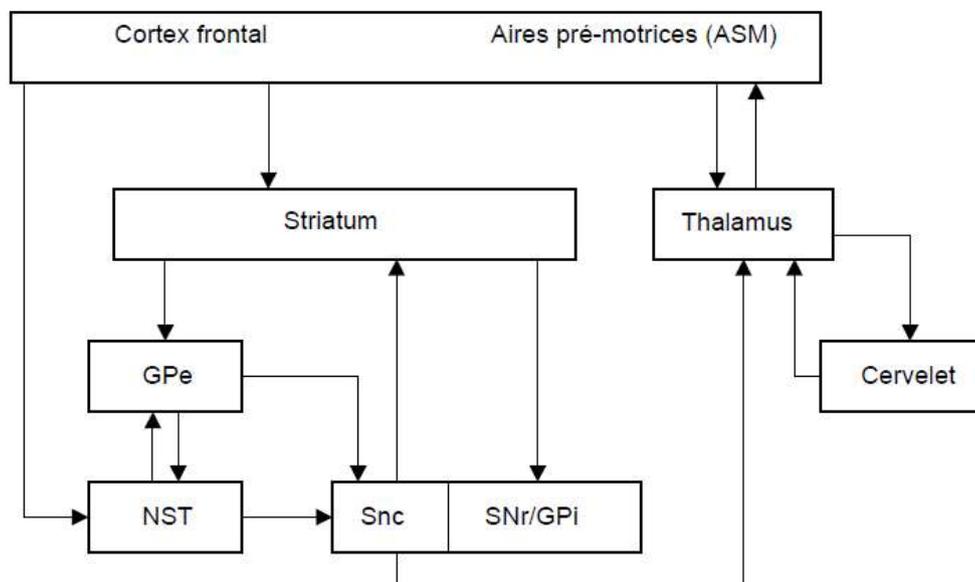


Figure I-7. Représentation schématique des structures neuronales impliquées dans le traitement de l'information temporelle : circuits striato-thalamo-corticales et cérébello-thalamo-corticales. GPe : globus pallidus externe, Gpi : globus pallidus interne, NST : noyau sous-thalamique, Snc : substance noire compact, SNr : substance noire réticulée (schéma extrait de la thèse de Gil, 2008).

D'autres auteurs ont également suggéré et démontré la présence de deux circuits neuronaux qui sous-tendent les processus temporels perceptifs et moteurs : un circuit striato-thalamo-cortical et un circuit olivo-cerebelleux (Ivry, 2002 ; Spencer et al, 2003 ; Teki et al, 2011 et 2012). Cependant ces auteurs ne partent pas de la dichotomie timing implicite/explicite mais de la dichotomie du timing basé sur la durée (perception d'une durée isolée ou réalisation d'une activité motrice discrète) et du timing basé sur le rythme (perception du rythme ou réalisation d'une activité motrice continue). Le circuit striato-thalamo-cortical serait plutôt sollicité lors du timing basé sur la durée d'un élément discret (« *duration based timing* ») et le circuit olivo-cerebelleux serait activé lors du timing basé sur le rythme (« *beat based timing* »). Ces deux circuits seraient néanmoins interconnectés via de multiples boucles incluant le thalamus et les aires motrices supplémentaires (Teki et al, 2012). Ces résultats ne viennent pas à l'encontre des précédents car ces auteurs proposent un découpage différent des processus temporels (durée/rythme) et s'affranchissent de cette difficulté de discerner avec franchise le timing implicite du timing explicite.

IV. Ontogénèse des processus temporels

Cette dernière sous-partie des apports théoriques a pour objectif de donner quelques notions sur le développement des processus temporels chez l'enfant. Le premier paragraphe concerne les enfants de moins de 5 ans pour lesquels le temps est un temps d'action, le deuxième paragraphe relate l'évolution des processus temporels chez les enfants de plus de 5 ans pour lesquels le temps peut devenir un concept abstrait et le dernier paragraphe rapporte les différentes théories explicatives de l'évolution des processus temporels.

1. Du nourrisson à l'enfant de 5 ans

De nombreux auteurs s'accordent à dire qu'il existe des compétences précoces dans les processus temporels chez les nourrissons. En effet, dès quelques jours de vie, un bébé peut dissocier deux durées différentes d'une centaine de milliseconde (Eilers, 1984 cité par Pouthas et al 1995) et discerner des rythmes auditifs. La discrimination de durée est une des caractéristiques de base nécessaire au traitement de la parole et cette compétence s'améliore rapidement durant la première année de vie du bébé (pour une revue voir Droit-Volet, 2016). Cette discrimination est, par ailleurs, plus précoce pour des stimuli auditifs que visuels (Droit-Volet, 2001). Condon et Sanders (1974) observent que des nourrissons de 3-4 mois synchronisent naturellement leurs mouvements au discours de l'adulte (Condon et Sanders, 1974 cité par Méary, 2003). Malgré ces

compétences précoces, il faut attendre l'âge de 5- 6 ans pour avoir une estimation et une reproduction temporelle précise et 8 ans pour obtenir des résultats aussi précis et fiables que ceux obtenus chez l'adulte (Droit-Volet, 2000).

Chez les jeunes enfants, avant 5 ans, l'estimation de durées ne peut se faire que via l'appréciation de changements vécus, de l'action (les modèles dynamiques sont alors plus appropriés pour expliquer cette période (Jones et Boltz, 1989)). L'estimation d'intervalle vide est de fait difficile voire impossible. Les enfants vivent donc le temps mais ne le pensent pas, ils acquièrent, via les rythmes de la vie (interaction sociale, musique, rythme de la journée...), un savoir-faire. Il n'existe pas pour ces enfants une notion de temps absolu ni de représentation de l'échelle temporelle à long terme. Ils ne peuvent pas, de fait, comprendre que deux actions distinctes puissent avoir la même durée (Pouthas, 1995 ; Droit-Volet, 2000). Un enfant de 3 ans peut ainsi reproduire la durée d'une action suite à un apprentissage procédural par imitation-copie, cependant il est incapable de transférer cette durée à une autre action. A 5 ans, un enfant est capable de transférer la durée d'une action apprise à une autre action, ainsi le temps est dissocié de l'action et la durée est relativement indépendante des événements et de leurs caractéristiques (Rattat et Droit-Volet, 2002). Pour certains auteurs tels que Addyman et al (2011) l'expérience motrice des nourrissons est la principale manière d'apprendre et de développer des compétences concernant la perception du temps.

Par ailleurs, les jeunes enfants vont être fortement impactés par la présence de distracteurs non-temporels dans l'environnement (mouvement, intensité de la lumière...). Proposer une tâche de perception temporelle en absence d'éléments perturbateurs (vitesse, espace) avec des consignes orientées vers la temporalité permet une amélioration de l'estimation temporelle chez les enfants de 4 à 6 ans (Pouthas, 1995). De même que la présence d'un métronome permet la mise en place de stratégie de comptage chez les enfants de 6 ans. Ce résultat laisse supposer la capacité d'utilisation du comptage mais ne veut pas dire qu'il y a la maîtrise du concept de mesure du temps (Droit-Volet, 2001).

La synchronisation des enfants de moins de 5 ans à un tempo imposé est difficile et envisageable uniquement s'il se trouve autour du tempo moteur spontané de l'enfant. Certains auteurs font l'hypothèse d'une courbe de résonance motrice du tapping centrée autour de 2 Hz (120 BPM) en lien avec la théorie de Van Noorden et Moelants (1999, cité par Repp et Su, 2013). En effet, Van Noorden et Moelants ont mis en avant un phénomène de résonance perceptive autour de 2Hz lorsqu'ils demandaient à des participants de taper le tempo sur une grande variété

de morceaux de musique (une majorité des tempi des musiques occidentales se trouvent par ailleurs autour de cette fréquence). Cependant, la présence d'un tempo extérieur supérieur au tempo moteur spontané entraîne une augmentation du tempo des frappes dans le cas où il est supérieur de plus de 20 % du tempo moteur spontané pour les enfants de moins de 3 ans. Le ralentissement du tempo des frappes est plus difficile et possible uniquement à partir de 3 ans (Bobin-Begue, 2002). Le tempo moteur spontané est compris entre 120 et 130 BPM (IIS de 450 à 500 ms) pour les enfants de 1 à 4 ans (Bobin-Begue, 2002).

Concernant la perception de l'ordre, les enfants entre 16 et 18 mois ont une notion d'ordre concernant les séquences d'actions connues. A partir de 3 ans, les enfants sont capables de mémoriser une nouvelle séquence d'actions sur une période courte (s'habiller, faire un gâteau). Il faut attendre l'âge de 5 ans pour apprendre une séquence ordonnée à l'échelle de la journée (pour une revue voir Pouthas, 1995).

2. De l'enfant de 5 ans à l'âge adulte

A partir de 5 ans, l'estimation et la reproduction d'intervalles temporels sont plus précises et moins variables. Puis rapidement, vers 8 ans, la précision et la variabilité sont similaires à celles de l'adulte (Pouthas, 1995 ; Droit-Volet, 2000). De même, la synchronisation à différents tempi est possible à partir de l'âge de 5 ans. Les auteurs notent une amélioration nette dans la précision et la stabilité de cette synchronisation jusqu'à l'âge de 8 ans (pour une revue de travaux voir Repp et Su, 2013). A l'âge adulte, la synchronisation est possible dès lors qu'il existe une variation de 3% du tempo moteur spontané (tempo préféré perçu comme un attracteur¹). La valeur du tempo moteur spontané est aux environs de 75 BPM à 8 ans (IIS de 800 ms) et de 100 BPM à 10 ans (IIS de 600 ms) puis tend à diminuer jusqu'à l'âge adulte. Le tempo moteur spontané à l'âge adulte présente une large variabilité interindividuelle avec des valeurs d'IIS comprises entre 300 et 900 ms (66 et 200 BPM), cette valeur ne dépend pas de l'effecteur utilisé. La variabilité intra-individuelle de ce tempo diminue avec l'âge et ne dépasse pas les 5% à l'âge adulte (Bobin-Begue, 2002 ; Méary, 2003).

A partir de 5 ans, l'enfant acquiert et manipule du vocabulaire du temps conventionnel (temps des verbes, vocabulaire temporel). Parallèlement, l'organisation temporelle se met en place via,

¹ Zone (ici tempo) vers lequel un système évolue de façon irréversible en l'absence de perturbations dans l'environnement intrinsèque et extrinsèque.

entre autres, un élargissement de l'horizon temporel (Droit-Volet, 2001). Le Tableau I-2 reprend quelques éléments du développement du temps notionnel chez un enfant de 5 à 12 ans.

Age	Acquisition et utilisation du temps notionnel
5 ans	Situation et organisation à l'échelle de la journée (matin et après-midi).
6 ans	Connaissance des jours de la semaine et association de repères (pas d'école le mercredi).
7-8 ans	Gestion de l'organisation de la semaine (le week-end étant le repère principal). Connaissances des mois et des saisons sous forme de liste verbales.
8-9 ans	Bonne gestion du système de représentation du temps.
11-12 ans	Gestion efficace et flexible des différents mois de l'année.

Tableau I-2. Développement du temps notionnel chez un enfant de 5 à 12 ans.

Cette évolution des connaissances et de l'utilisation du temps notionnel s'effectue parallèlement au développement des processus temporels et de façon similaire aux compétences spatiales. En effet, les compétences spatiales s'acquièrent à partir des diverses perceptions (visuelle, auditive, tactiles, proprioceptive) qui nous font appréhender notre corps et l'environnement. L'espace est initialement un espace d'action et de perception, il faut attendre l'âge de 7 ans pour que commence à se développer une représentation symbolique pouvant être traité (réversibilité, rotation mentale...). Parallèlement, dès 3 ans l'enfant commence l'acquisition du lexique spatial (dedans, dessous, dessus, derrière, à droite, à gauche...).

3. Hypothèses explicatives du développement des processus temporels

Il existe plusieurs explications avancées par les auteurs concernant le développement des processus temporels en lien avec les modèles théoriques présentés précédemment. Les auteurs s'accordent à mettre en avant une contribution multifactorielle : cognitive, affective, environnementale et linguistique pour expliquer le développement de ces différents processus temporels.

Historiquement, les modèles dynamiques primaient dans l'explication de la mise en place des processus temporels. Les expériences de rythmicités auxquelles le nourrisson est soumis

(langage, coordinations motrices, berceuses, micro-rythme de la journée, alternance présence/absence, macro-rythme journalier – rythme nyctéméral) constitueraient un socle de base à l'acquisition des notions de temps (Fraisse, 1967 ; Pouthas, 1995 ; Droit-Volet, 2001 ; Bobin-Begue, 2002).

La modification de la fréquence et de la régularité de la pulsation du pacemaker avec l'avancée en âge peut aussi expliquer en partie la modification de la perception temporelle avec l'âge (Gibbon et Church, 1984 ; Bobin-Begue, 2002). Nonobstant certaines études pilotes, certains auteurs avancent qu'il n'existe pas à ce jour de preuves scientifiques suffisantes pour avancer cette hypothèse (Droit-Volet, 2016).

La maturation neurologique du cortex frontal en particulier et le développement des fonctions exécutives (mémoire, attention sélective et soutenue, inhibition) sont aussi mis en lien avec le développement des processus temporels (Droit-Volet, 2001 et 2016). L'implication de la mémoire dans le traitement des processus temporels est double si l'on considère le modèle cognitif de Gibbon et Church (1984). Dans ce cadre, la mémoire de travail (comptage) et la mémoire à long terme (mémoire de référence) sont primordiales à la bonne perception du temps. Par ailleurs, il a été mis en avant que pour le jeune enfant, entre 3 et 5 ans, la mémoire procédurale est supérieure à la mémoire explicite. Les tâches temporelles faisant intervenir des durées et la mémoire à long terme (reproduire une durée de 5 secondes immédiatement à 1h, 24h et 48h) est réalisable pour des enfants entre 3 et 5 ans uniquement si elle sollicite la mémoire implicite (copie-imitation) (Rattat et al, 2007). L'expérience montre une amélioration de la précision et de la stabilité avec l'âge. Ce résultat appuie l'observation faite que les enfants avant 5 ans vivent le temps au travers de l'action (temps implicite) et sont en difficulté face à la perception temporelle de durée vide.

L'attention soutenue et sélective sont toutes les deux impliquées dans les tâches de perception temporelle et d'autant plus lorsqu'il s'agit de tâches à forte charge cognitive (voir Figure I-5). Le développement tardif de l'attention chez les enfants serait donc aussi une explication à la moins bonne performance (précision et stabilité) des enfants dans le traitement de tâches temporelles par rapport aux adultes (Droit-Volet, 2016).

Finalement, le langage est également un élément à prendre en compte dans l'acquisition des concepts abstraits (De Coster, 2009). En effet, la médiation verbale est présente pour des expériences vécues (« Mercredi, tu n'as pas école »), pour des représentations mentales (« L'été, il fait chaud ») ainsi que lors des apprentissages scolaires comme la comptine des jours de la semaine.

V. Conclusion de la partie I

Les processus temporels intéressent les scientifiques depuis le début du 19^{ème} siècle. Leur définition est multiple et complexe selon qu'il s'agisse de perception ou d'action, selon si il s'agit d'un stimulus discret ou d'un rythme, selon la modalité sensorielle des stimuli temporels, selon la fenêtre temporelle étudiée (< ou > à la seconde) ou selon le caractère explicite ou implicite de la tâche. Actuellement, la classification de Coull et Nobre (2008) permet de regrouper un large panel de ces processus. Dans ce mémoire, nous utiliserons prioritairement cette classification comme référence afin de pouvoir comparer l'ensemble des résultats entre eux de manière cohérente. La Figure I-8 reprend l'ensemble des tâches temporelles utilisées au sein de la littérature pour évaluer les différents processus temporels présents dans la taxonomie fonctionnelle de Coull et Nobre (2008).

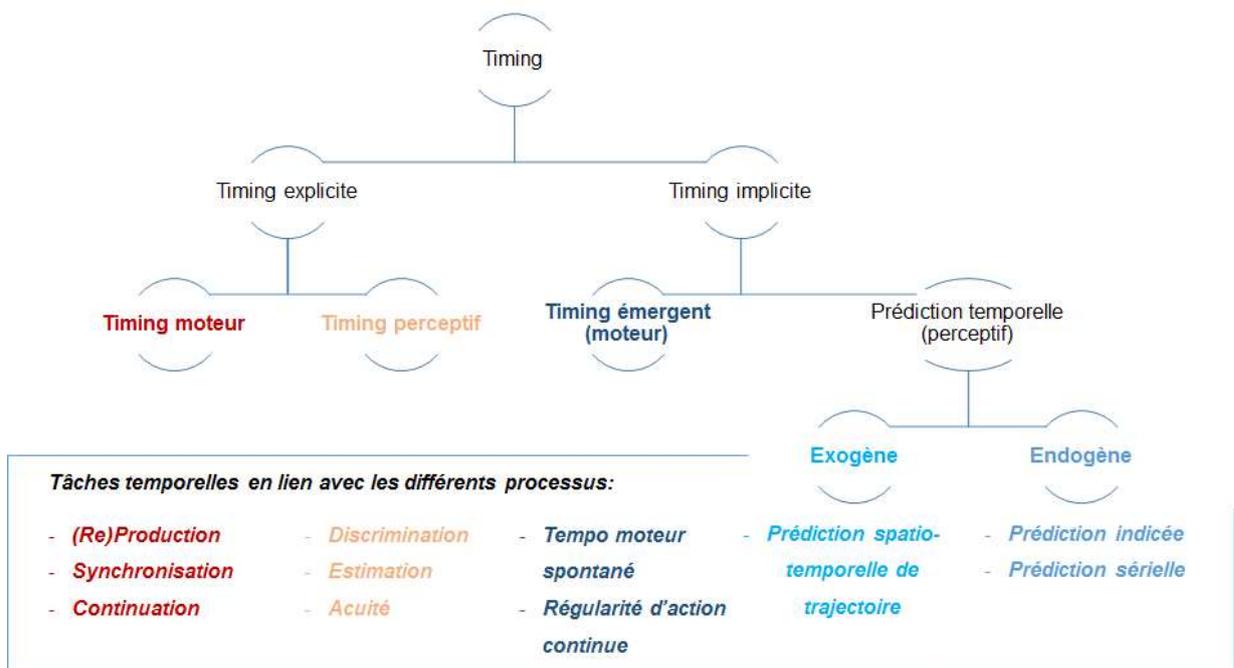


Figure I-8. Différentes tâches temporelles pouvant être étudiées afin d'appréhender les différents processus temporels de la taxonomie fonctionnelle d'après le schéma de Coull et Nobre (2008).

A propos des modèles théoriques explicatifs des processus temporels, il semble que les modèles dynamiques puissent mieux expliquer le développement des processus temporels chez le jeune enfant (jusqu'à 5 ans) qui appréhende le temps au travers de changements vécus et de leur action sensori-motrice. Concernant les modèles cognitifs avec horloge interne, ils permettent de faire un lien entre les processus temporels et les fonctions cognitives ainsi qu'avec les

principales zones cérébrales impliquées : le cervelet, les ganglions de la base et le cortex frontal. Les auteurs proposent deux circuits neuronaux distincts, néanmoins fortement interconnectés, qui sous-tendent les processus temporels : un circuit striato-thalamo-cortical et un circuit intégrant le cervelet.

Enfin, la connaissance de l'ontogénèse des processus temporels est primordiale puisqu'elle permet de prendre d'une part conscience de l'importance des rythmes moteurs, biologiques (sommeil, repas) et sociaux (parole, interaction) des nourrissons dans la construction des processus temporels (temps vécu dans un premier temps et non concept abstrait). D'autre part, l'enfant acquiert dans un deuxième temps la notion du concept du temps mais il lui faudra plusieurs années d'expérimentation avant d'atteindre des compétences similaires à celle d'un adulte (acquisition des notions temporelles, élargissement de l'horizon temporel et amélioration de la précision et de la variabilité dans les différentes tâches temporelles).

Partie II. Les processus temporels pour le psychomotricien

L'objectif de cette partie est de faire un lien entre les différents domaines psychomoteurs et les processus temporels afin de valider l'intérêt d'évaluer et de prendre en charge, dans notre pratique, les différents processus temporels présentés précédemment. Pour chacun des domaines abordés (habiletés motrices, habiletés sociales et fonctions cognitives), de nombreux auteurs soulignent et mettent en avant une corrélation entre ces domaines et les processus temporels. Nonobstant ces corrélations, les théories explicatives (théoriques ou neurologique) ne peuvent aujourd'hui expliquer de manière triviale les liens entre les processus temporels et les processus moteurs et cognitifs. Dans ce mémoire, nous prenons le parti de présenter les théories pour lesquelles les liens entre processus temporels et les fonctions visées sont mis en avant même si ces liens ne sont pas encore complètement explicités. Pour chacun des domaines abordés, nous présenterons des cadres pathologiques appuyant ce lien entre les processus temporels et les fonctions psychomotrices concernées.

I. Le temps dans les habiletés motrices

Les habiletés motrices sont définies comme la capacité à élaborer et réaliser une action motrice efficace et économique pour atteindre un objectif précis. Il existe différentes catégories d'habiletés motrices fonctions du type de mouvements (mouvements discrets, sériels ou continus), du type d'action motrice sollicitée (globale ou fine) et du milieu (habiletés fermées à faible incertitude et habiletés ouvertes nécessitant une forte adaptation motrice en lien avec l'environnement). Le niveau d'acquisition des habiletés motrices peut être appréhendé par l'observation et l'évaluation du couple vitesse-précision, la stabilité spatio-temporelle et l'organisation du mouvement (fluidité et harmonie). Le lien entre les habiletés motrices et les processus temporels est souvent souligné par les auteurs, ce lien peut s'analyser :

- d'un point de vue théorique via l'étude des théories du mouvement. Pour ce mémoire, nous avons fait le choix d'aborder les théories cognitives et les théories dynamiques.

- d'un point de vue pratique, lors de l'étude de patients atteints de pathologies présentant des troubles des habiletés motrices telles que le trouble développemental des coordinations (TDC), la maladie de Parkinson, le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H). Pour cette partie, nous illustrerons notre propos au travers du TDC et de la maladie de Parkinson.

1. Théories des actions motrices

Ce paragraphe a pour objectif de faire un lien entre l'action motrice et les processus temporels au travers de deux théories explicatives des actions motrices. L'objectif n'est pas ici de faire une explication exhaustive et détaillée de ces théories mais bien de mettre en exergue les liens théoriques entre les caractéristiques des habiletés motrices et les différents processus temporels vu précédemment.

a) Théorie cognitive

Les théories cognitives aussi nommées théories hiérarchiques supposent que tous les aspects de la planification et de l'exécution du mouvement sont sous la seule responsabilité du système nerveux central. D'après les théories cognitives, l'ensemble des habiletés motrices est étroitement liée aux processus temporels d'une part en lien avec le contrôle de la durée et de la vitesse de l'action motrice (adaptation spatio-temporelle en lien avec l'environnement et l'anticipation de la durée de l'action motrice) et d'autre part en lien avec la coordination propre de l'action motrice (Sommer, 2014).

Concernant l'adaptation et le contrôle de l'action motrice, il faut adapter de manière continue son action par rapport à l'environnement via le couplage action-perception et cela passe, entre autre, par l'intégration et l'analyse des données temporelles contenues dans le déplacement d'éléments de l'environnement ainsi que par l'estimation et l'anticipation de la durée d'un évènement et/ou de l'action motrice (système bottom-up). Si nous prenons l'exemple d'une tâche d'anticipation-coïncidence tel que l'interception d'une balle, il est nécessaire d'extraire les informations temporelles de l'objet en déplacement afin d'en prédire les coordonnées spatio-temporelles du point d'interception, programmer et exécuter la réponse motrice (nécessité d'anticiper la durée de cette action). Ce point est en lien direct avec le timing implicite perceptif (prédiction temporelle exogène) de la classification taxonomique des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

Concernant la coordination propre de l'action motrice, l'action est réalisable grâce à la présence de représentations internes du mouvement stockées en mémoire sous forme de programmes moteurs. Keele (1968) définit le programme moteur comme « une série de commandes musculaires qui sont structurées avant qu'une séquence de mouvements commence, et qui permet la séquence entière d'être mise en œuvre, sans être influencée par des feed-back périphériques ». Cette première définition a donné lieu à un élargissement de la notion de

Programme Moteur Généralisé (PMG, Schmidt, 1993). Cet élargissement permet entre autres de prendre en compte l'importance du feed-back sensoriel dans le mouvement moteur lent pour en assurer sa précision. Pour Schmidt (1993), un même PMG peut être utilisé pour réaliser un grand nombre de mouvements similaires uniquement en ajustant des paramètres de configuration du mouvement. La personne développe donc des schèmes et des règles de paramétrisation du mouvement qui lui permettent de reconstituer et de réaliser le mouvement quelles que soient les contraintes de l'environnement. Les principales données invariantes contenues dans le PMG ou schéma moteur sont :

- les relations spatiales et temporelles,
- les durées relatives ou timing des différentes actions élémentaires,
- l'ordre des séquences unitaires motrices,
- les forces relatives des muscles impliqués.

Les paramètres variables du PMG sont la durée et la force totale du mouvement, les groupes de muscles sollicités, la direction et l'amplitude du mouvement.

La Figure II-1 représente une schématisation de l'action motrice selon les théories cognitives. Pour Schmidt (1993), lorsqu'un mouvement doit-être réalisé, un processus en quatre étapes se met en place :

- les conditions initiales sont analysées via les informations proprioceptives, visuelles et auditives. Elles comprennent la posture du sujet, la position de ses membres, sa situation dans l'environnement mais aussi l'état du milieu et des objets avant que ne s'effectue le mouvement,
- la paramétrisation du mouvement pour satisfaire aux contraintes de la tâche, elle donne lieu aux caractéristiques spécifiques de l'action. L'action peut alors être déclenchée.
- l'analyse et la comparaison des conséquences sensorielles de la réponse (feedback ou rétroaction proprioceptive et extéroceptive),
- l'analyse du résultat effectif de l'action en lien avec le résultat escompté (connaissance du résultat).

Des informations sont stockées en mémoire durant le déroulement de ces quatre étapes. Elles viennent alimenter et mettre à jour de façon continue deux schémas :

- le schéma de rappel, qui se développe au cours de l'apprentissage en mettant en relation les conditions initiales, les spécifications de réponses et les résultats effectifs,
- le schéma de reconnaissance, qui met en relation les conditions initiales, les conséquences sensorielles et les résultats effectifs. Il est responsable de la correction des erreurs

et du contrôle du mouvement en fonction de la comparaison entre les informations sensorielles attendues et effectives.

Les mouvements rapides utiliseraient uniquement le schéma de rappel (l'action une fois déclenchée se ferait en dehors de tout contrôle), alors que les mouvements lents nécessiteraient la présence des deux schémas pour un contrôle en temps réel de l'action.

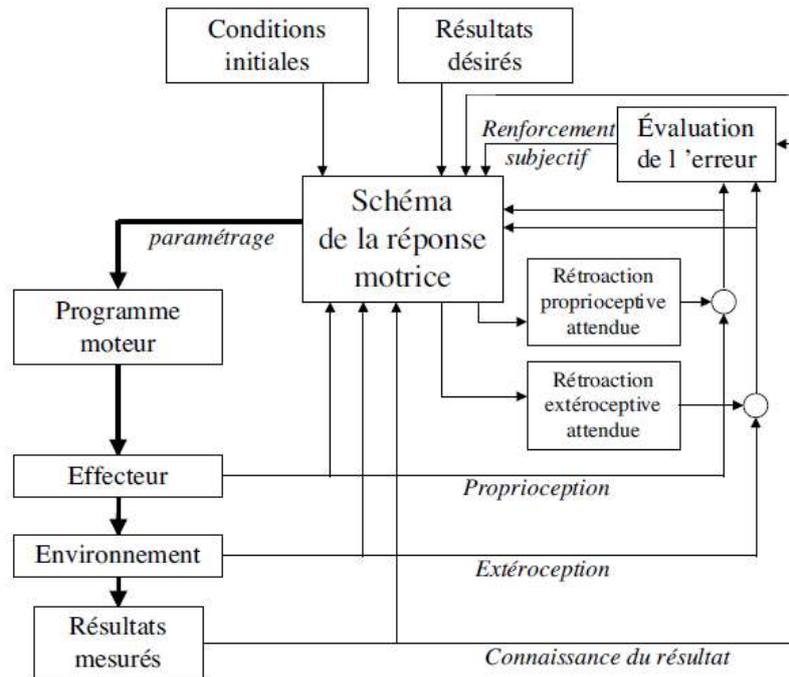


Figure II-1. Schématisation de la réalisation d'action motrice selon les théories cognitives (Schmidt, 1993).

Les théories cognitives mettent en avant un lien fort entre processus temporels et action motrice au travers des différentes étapes de l'habileté motrice. Effectivement, les processus temporels sont importants pour :

- l'analyse des conditions initiales afin d'estimer et d'anticiper la durée d'un évènement extérieur et une action motrice à venir. Les processus temporels sollicités pour cette étape seraient le timing implicite perceptif exogène si les données temporelles sont contenues dans le déplacement d'un objet ou endogène s'il s'agit d'une prédiction temporelle indiquée par un évènement antérieur.

- le séquençage et l'ordre des mouvements élémentaires.
- contrôler et différencier le rythme et le tempo spécifique à l'action motrice. Une modification du rythme pouvant entraîner une modification de l'aspect de la coordination. L'entraînement d'une

habileté motrice sur un rythme externe a mis en avant une augmentation de sa performance (Lamour, 1981 ; Zachopoulou et al, 2000 et Kim et al 2011 cité dans Sommer, 2014). Au travers de cette théorie, l'apprentissage moteur est visible au travers de l'émergence d'un pattern temporel (rythme) intrinsèque à la coordination motrice (Lamour, 1981 ; Sakai et al, 2004). Pour cette étape, les processus temporels sollicités semblent être le timing implicite moteur d'une part concernant le tempo moteur spontané propre à l'individu et d'autre part concernant les régularités rythmiques propre à l'action motrice. De même, nous pouvons soulever l'importance du timing moteur explicite (synchronisation) pour une augmentation de performance.

- la mémorisation des données temporelles des conditions initiales, des durées de l'action ainsi que de l'ordre et de la durée des feedback sensoriels pour la mise à jour des schémas de rappels et de reconnaissance. Nous pouvons, par exemple, facilement imaginer qu'une mauvaise estimation de la durée d'une action pourrait entraîner une altération de l'anticipation d'une action motrice future faisant appel au même PMG. Cette étape concernerait le timing perceptif implicite et/ou explicite en lien aussi avec les phénomènes mnésiques.

La Figure II-2 résume les différents processus temporels de la taxonomie fonctionnelle de Coull et Nobre (2008) qui sont impliquées dans l'apprentissage et la réalisation d'habiletés motrice d'après les théories cognitives. Nous pouvons noter que selon cette théorie, l'ensemble des timing semble important et nécessaire même si le timing moteur explicite est impactant dans le cadre de l'utilisation de synchronisation avec un rythme extérieur pour une amélioration des performances.

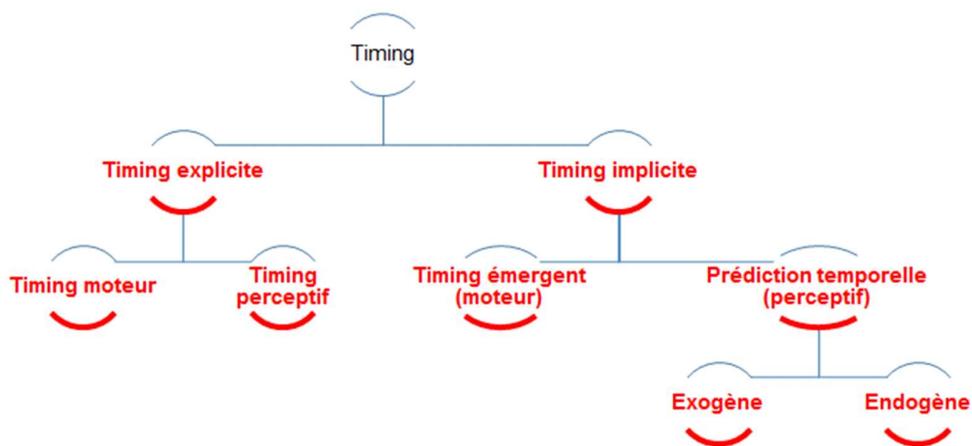


Figure II-2. Processus temporels impliqués (en rouge) dans l'acquisition d'habiletés motrices suivant l'approche cognitive selon la taxonomie fonctionnelle des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

b) Théorie dynamique

Les théories dynamiques sont issues d'une part des théories d'auto-organisation empruntées aux sciences physiques et chimiques et d'autre part aux théories des systèmes dynamiques non-linéaires provenant des mathématiques dont l'objectif est de modéliser les théories d'auto-organisation de systèmes complexes observés dans la nature. Ces théories d'auto-organisation et des systèmes dynamiques ont été appliquées aux coordinations motrices par Kugler, Kelso et Turvey (1980 cité par Sallagoïty, 2005). Le principe fondamental des théories d'auto-organisation est qu'un système complexe composé d'une multitude de systèmes élémentaires interagissant les uns avec les autres (systèmes de nature chimique, biologique ou physique) peuvent montrer spontanément des configurations spatio-temporelles organisées et stables à l'échelle macroscopique (Haken, 1983 et Yates, 1987 cités par Sallagoïty, 2005). Ces théories permettent d'expliquer l'émergence de patterns stables et structurés macroscopiquement dans un système complexe.

Selon les théories écologiques, l'environnement est perçu comme une source importante d'information pour l'action sans traitement cognitif élaboré. D'après ces théories, les perceptions perçues de l'environnement sont des « affordances », elles sont directement significatives par elle-même. Par exemple, comme le montre la Figure II-3, un individu adoptera une action différente en fonction de la hauteur de la marche et ses capacités (taille, souplesse...) sans pour autant le réfléchir (Warren, 1984).

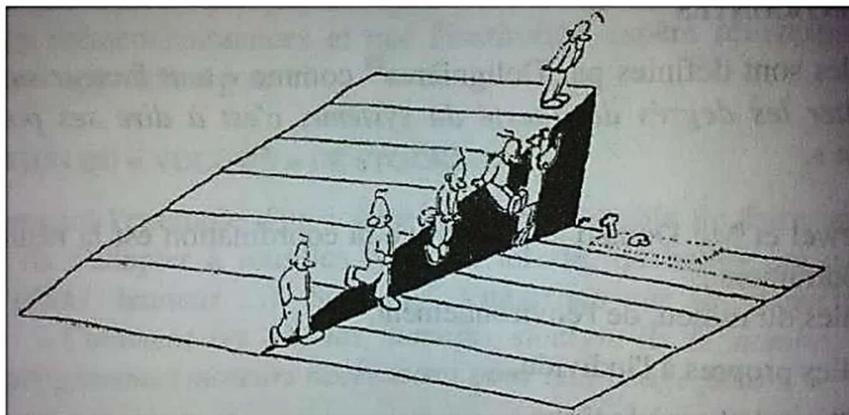


Figure II-3 Illustration de l'affordance pour l'adoption de différentes stratégies de franchissement d'une marche en fonction de sa hauteur.

Il existerait un lien direct entre affordance et action ne faisant pas appel à un traitement cognitif. La réalisation du contrôle moteur résulterait donc de l'interaction de plusieurs sous-systèmes (neurologique, biologique, musculaire). Aucun de ces sous-systèmes n'a de priorité sur l'autre, un phénomène d'auto-organisation de l'organisme permettrait l'émergence d'une coordination (pattern ou schème) adapté aux contraintes diverses. Les phénomènes d'auto-organisation, applicables à tous les systèmes complexes de l'environnement, permettent d'expliquer qu'un produit hautement organisé d'un point de vue spatio-temporel peut émerger spontanément de l'interaction des éléments constituant un système complexe. Les patterns de coordination émergent donc en fonction des contraintes de l'environnement, de l'organisme et de la tâche. Le terme de contrainte englobe tout facteur susceptible de limiter le degré de liberté du système et donc d'influencer le pattern émergent.

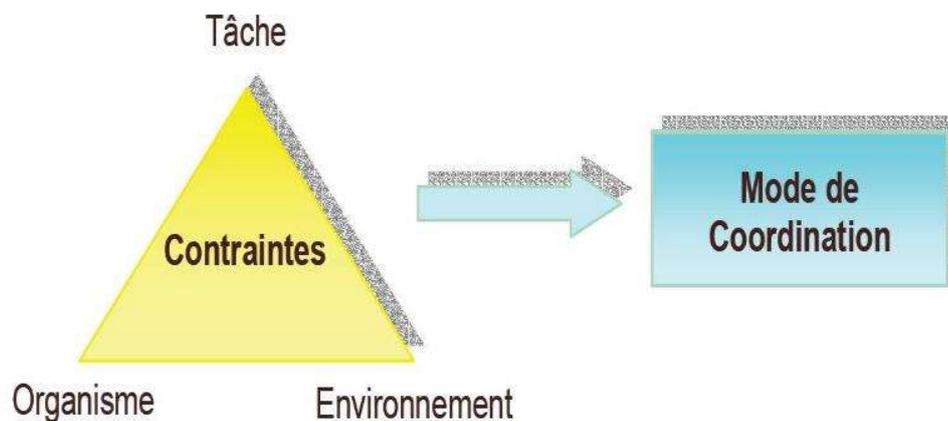


Figure II-4 Ensemble de contraintes permettant l'émergence d'une coordination [Newell, 1986].

Ces théories tendent à montrer qu'un système adopte, sous l'influence des contraintes, un certain type de comportement spontané ou préférentiel nommé attracteur. Par exemple, pour les tâches bimanuelles de Kelso et al (1981) rapportées sur la Figure II-5, à faible vitesse deux attracteurs apparaissent : la coordination en phase (0°) et la coordination en anti-phase (180°). Un sujet adopte donc spontanément l'une ou l'autre de ces coordinations. Le pattern moteur spontané peut être modifié lors de la variation d'un paramètre de contrôle. Dans l'expérience des tâches bimanuelles de Kelso et al (1981), l'augmentation de la fréquence d'oscillation entraîne les participants initialement en anti-phase à basculer en phase. Pour un autre exemple, l'augmentation de la vitesse d'un cheval va entraîner le passage du pas, au trot puis au galop. Ainsi lors d'un apprentissage, l'utilisation d'un métronome, imposant différents tempi, peut être utilisé comme une contrainte environnementale pour faire apparaître un nouveau pattern. Zanone

et Kelso (1992) ont démontré la possibilité d'utiliser un métronome pour l'apprentissage d'une nouvelle tâche bimanuelle comprise entre la phase et l'anti-phase (90°).

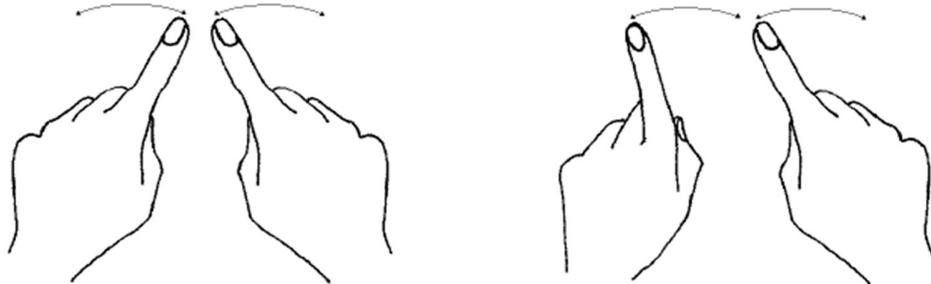


Figure II-5 Tâche de coordination bimanuelle de Kelso et al (1981). Le schéma de gauche représente la coordination en phase (décalage de phase de 0°) et celui de droite la coordination en anti-phase (décalage de phase de 180°).

Suivant les théories dynamiques, le tempo de réalisation de l'action motrice intervient comme un paramètre de contrôle et peut donc être manipulé via l'utilisation de tempo ou de rythme externe (synchronisation sensori-motrice) lors de l'apprentissage de nouveau pattern moteur. Comme le montre la Figure II-6 et selon cette théorie, les processus temporels sollicités pour l'acquisition d'actions motrices seraient donc le timing explicite moteur via les tâches de synchronisation sensori-motrice. De plus, les auteurs en accord avec les théories d'auto-organisation mettent en avant l'émergence de patterns stables possédant des caractéristiques spatio-temporelles organisées, nous pouvons y associer le timing implicite moteur ou émergent.

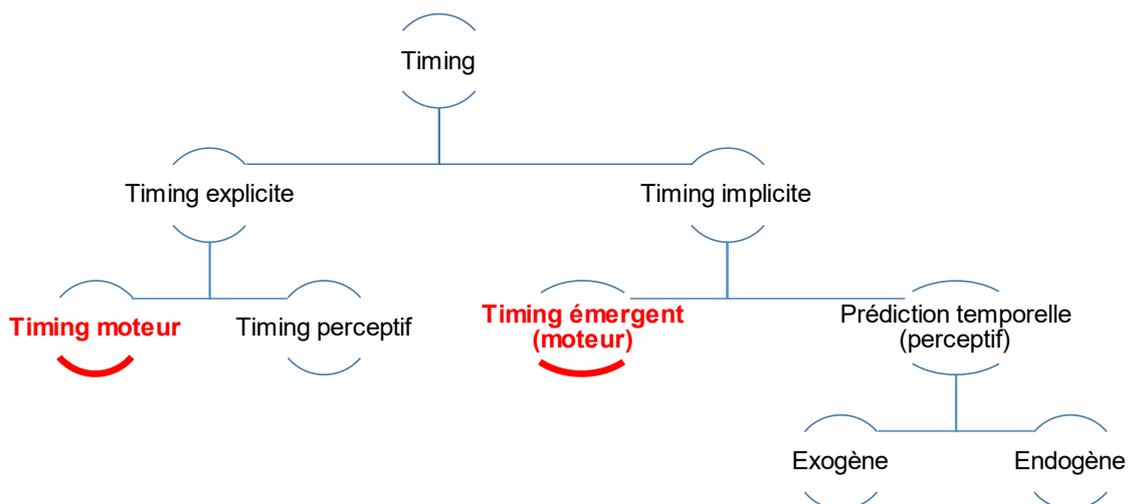


Figure II-6. Processus temporels impliqués (en rouge) dans l'acquisition d'habiletés motrices suivant l'approche dynamique selon la taxonomie fonctionnelle des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

2. Pathologies : le TDC et la maladie de Parkinson

a) Le trouble développemental de la coordination

Le trouble développemental des coordinations (TDC) (Trouble Spécifique du Développement Moteur de la CIM-10 et anciennement Trouble de l'Acquisition des Coordinations du DSM 4) est un trouble neuro-développemental dont la prévalence est d'environ 5 à 6 % et le sex-ratio compris entre 2/1 à 7/1 au profit des garçons (Blank, 2012). Ce trouble se caractérise par un manque de contrôle des coordinations motrices touchant aussi bien la motricité fine que la motricité globale. Le DSM 5 donne pour principal critère un niveau d'acquisition et d'exécution des habiletés motrices nettement au-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge du sujet (maladresse, lenteur, imprécision dans l'exécution des habiletés motrices) en dépit d'un apprentissage et d'une stimulation adéquats.

D'un point de vue clinique, il est couramment observé (Albaret, 2007 ; Wilson et al, 2013) :

- des troubles perceptivo-moteurs tels qu'une faible discrimination proprioceptive et kinesthésique, une perturbation du transfert intermodal sensoriel, des troubles oculomoteurs et des troubles de performance visuo-spatiale (visuo-moteur et visuo-constructif).
- des troubles de l'action tel qu'un trouble de l'équilibre, du contrôle postural et des coordinations (lenteur, imprécision, fluidité, variabilité dans les différentes tâches).
- des signes neurologiques doux (syncinésies, hypotonie...)
- des troubles affectifs tel que des troubles émotionnels et comportementaux ainsi que des troubles anxieux.

Des auteurs mettent aujourd'hui aussi en avant un trouble de l'apprentissage procédural (Nicolson et Fawcett, 2007 cité par Chaix et Albaret, 2013) associé à un dysfonctionnement au niveau cérébral des voies cortico-cérébelleuse et /ou cortico-striatale impliquées dans cette forme d'apprentissage. Comme nous avons pu le voir précédemment ces voies sont aussi impliquées dans les processus temporels.

A ce jour, la littérature scientifique concernant le déficit temporel chez les sujets atteints d'un TDC n'est pas, à notre connaissance, très abondante. Les auteurs traitent principalement du timing moteur implicite et explicite.

Pour le timing moteur implicite, il existe une plus grande variabilité intra-personnelle dans le tempo moteur spontané chez des enfants TDC par rapport à un groupe contrôle (Piek et Skinner, 1999 cité par Wilson et al, 2013).

Pour le timing explicite moteur, les auteurs ont mis en avant une moins bonne précision et une plus grande variabilité durant des tâches synchronisation sensori-motrice et des tâches de synchronisation - continuation (De Castelnau et al 2007 et Volman et Geuze, 2008 cité par Wilson et al 2013 ; Geuze et Kalverboer, 1987 et 1994 ; Whittall et al, 2006 et 2008 ; Rosenblum et Regev, 2013). Whittall et al (2006 ; 2008) utilisent des tâches de synchronisation avec un métronome pour des tempi allant de 48 à 190 BPM (IIS de 313 à 1250 ms). Les groupes d'enfants doivent alors synchroniser leurs frappes digitales (2008) ou synchroniser leur marche ou leur frappe des mains (2006). Les auteurs montrent que les enfants de 7 ans ayant un TDC présentent une plus grande variabilité et une plus faible précision dans l'ensemble de ces tâches de synchronisation. Rosenblum et Regev (2013) utilisent un métronome interactif (Interactive-Metronome® IM). L'IM est un dispositif regroupant un métronome relié à un logiciel informatique et à des capteurs de pression ou de mouvement. Ce dispositif permet, lors de tâche de synchronisation avec le métronome, de relever et d'analyser directement la frappe ou le mouvement d'une main ou d'un pied. Ce dispositif est également équipé d'une méthode de feedback auditif indiquant au sujet s'il est plutôt en avance ou en retard par rapport au tempo imposé. Les auteurs ont mis en évidence pour des enfants entre 7 et 10 ans avec un TDC une plus grande variabilité et une moins bonne précision dans des tâches de synchronisation avec un pied ou une main par rapport à un groupe contrôle. Ce déficit est hétérogène en fonction de la personne et en fonction des paramètres de la tâche utilisée (Wilson et Butson, 2005). Par exemple, le déficit semble plus important lors de stimuli auditifs par rapport à des stimuli visuels (Whittall et al, 2008) et semble principalement toucher les fréquences élevées (Geuze et Kalverboer, 1994).

A notre connaissance, seule l'étude de Roche et al (2016) abordent la question du timing perceptif en dehors de toute implication motrice. Les auteurs mettent en avant qu'il n'existe pas de différence dans le seuil de perception de tempi (différence temporelle la plus faible pour laquelle deux tempi sont différenciés) entre un groupe d'enfant avec un TDC et un groupe contrôle. Par ailleurs, ce seuil de perception tend à diminuer avec l'âge aussi bien pour les enfants avec un TDC que les enfants du groupe contrôle, laissant supposer une évolution similaire du timing perceptif.

La Figure II-7 rapporte un résumé des processus temporels actuellement connus comme déficitaires chez les personnes ayant un TDC. Ces processus temporels sont les mêmes que ceux impliqués dans l'acquisition des habiletés motrices d'après les théories dynamiques du mouvement mais aussi dans les théories cognitives de la motricité pour le timing émergent. Ainsi le déficit de ces processus temporels est soit concomitants au déficit moteur (substrats neurologiques similaires), soit pourrait être à l'origine d'une partie des déficits moteurs observés chez les personnes ayant un TDC. Wilson et Butson (2005) mettent en avant un dysfonctionnement cérébelleux comme en partie responsable des troubles du timing pouvant être observés chez des enfants ayant un TDC puisque le cervelet est impliqué dans les processus temporels implicites et les processus temporels explicites inférieurs à la seconde.

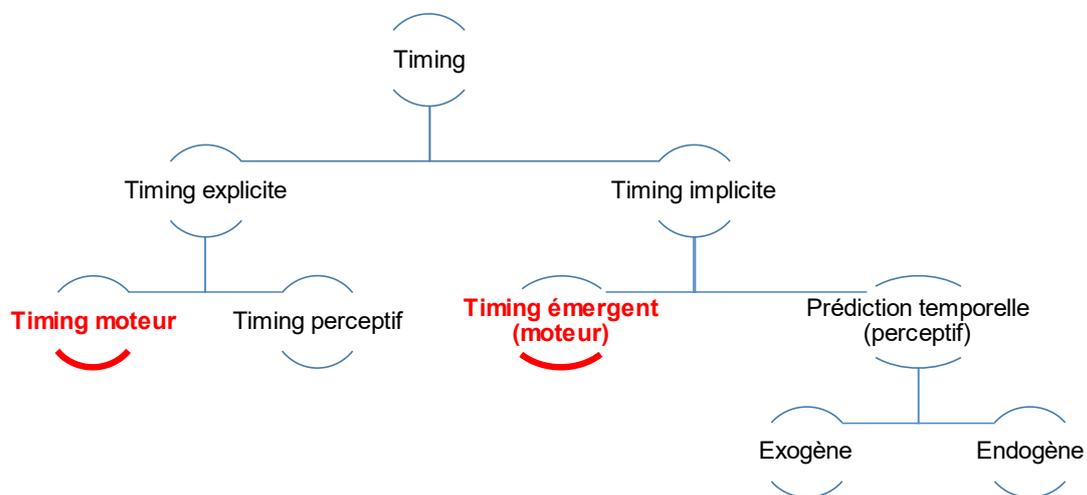


Figure II-7. Processus temporels déficitaires (en rouge) dans le TDC selon la taxonomie fonctionnelle des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

b) La maladie de Parkinson

La maladie de parkinson idiopathique est une maladie neurodégénérative caractérisée par une dégénérescence des neurones situés dans la substance noire. La disparition de ces neurones entraîne une diminution de la libération de dopamine par les neurones se projetant sur les ganglions de la base. Les troubles moteurs prédominants sont :

- les tremblements de repos qui disparaissent lorsque la personne fait un mouvement,
- la rigidité musculaire,
- l'akinésie ou un ralentissement lors de l'initiation des mouvements (augmentation du temps de réaction) qui peut conduire à un défaut d'initiation du mouvement communément appelé *freezing*.

Ces troubles moteurs ont un impact sur la marche (variabilité des paramètres spatio-temporels-cadence rapide et irrégulière), l'équilibre, les coordinations manuelles et motrices ainsi que les communications non verbales. Cette triade symptomatique est également accompagnée de symptômes psychologiques et cognitifs (syndrome dysexécutif).

Concernant les troubles des processus temporels chez les patients atteints de la maladie de Parkinson, les études mettent principalement en avant un impact du timing explicite.

Pour le timing explicite moteur, la synchronisation sensori-motrice et la continuation (maintien d'un tempo donné préalablement) semblent impactées chez les sujets Parkinsoniens. Effectivement, les auteurs mettent en avant une plus grande variabilité et une moins bonne précision lors de tâche de synchronisation-continuation chez des sujets Parkinsoniens par rapport au groupe contrôle (Haarington, 1998 et Smith, 2007 cité par Innocent-Mutel, 2016 ; Schwartz et al, 2011). Schwartz et al (2011) notent que même la présence de feedback n'améliore pas le contrôle de correction chez les sujets Parkinsoniens. Une plus grande variabilité est aussi relevée dans des tâches de production et reproduction de durée chez des sujets Parkinsoniens (Perbal, 2005 et Jones, 2008 cité par Innocent-Mutel, 2016). Cette variabilité du timing explicite moteur est expliquée par les auteurs selon différentes hypothèses : un déficit moteur, un déficit d'attention et un déficit de l'horloge interne (Grondin et al, 2006 ; Schwartz et al, 2011). Pastor et al (1992) soumettent des sujets Parkinsoniens à des tâches d'estimation et de production de durée comprises entre 3 et 27 s. Pour les tâches d'estimation une première phase d'entraînement est réalisée pour apprendre à estimer 1 s (tâche de tapping avec l'index et feedback visuel). Pendant la phase de test d'estimation, les sujets voient apparaître un rectangle sur un écran pendant une durée donnée, les sujets doivent alors donner une estimation verbale de cette durée. Les résultats de cette première phase mettent en avant une sous-estimation verbale des durées pour les sujets Parkinsoniens par rapport au groupe contrôle. Pendant la phase de test de production, les sujets sont invités à reproduire avec leur doigt une durée préalablement présentée sur l'écran via l'apparition d'un rectangle (apparition avec marqueurs temporels – rectangle clignotant à une fréquence donnée ou sans marqueur temporel – apparition continue du rectangle). Les auteurs notent que les sujets Parkinsoniens qui ont tendance à sous-estimer verbalement surproduisent d'un point de vue moteur les durées dans cette deuxième phase. Les auteurs s'orientent donc vers un ralentissement de l'horloge interne en lien avec la déplétion dopaminergique comme explication du déficit du timing explicite chez les Parkinsoniens.

Pour le timing explicite perceptif, les sujets atteints de la maladie de Parkinson présentent plusieurs déficits par rapport aux sujets contrôles :

- l'augmentation du seuil de discrimination temporelle quelle que soit la modalité sensorielle (auditive, visuelle ou tactile). Ce déficit est corrélé positivement avec le niveau de sévérité de la maladie (Artieda, 1992 et Lange, 1994 cité par Innocent-Mutel, 2016).

- un déficit dans le jugement de durées allant de la milliseconde à plusieurs secondes se matérialisant par plus d'erreurs dans la comparaison de deux durées et une plus grande variabilité dans le jugement des durées (Haarington, 1998 et Smith, 2007 cité par Innocent-Mutel, 2016).

Malapani et al (1998 et 2002 cité par Grondin et al, 2006) parlent d'un « effet de migration » lors de tâche d'estimation temporelle. Les Parkinsoniens ont tendance à surestimer des durées courtes (8s) et sous-estimer des durées longues vers une valeur commune centrale (21s). L'auteur explique en partie ce déficit par les processus mnésiques d'encodage (lien avec le rôle majeur des ganglions de la base dans le comptage du temps) et de récupération.

Concernant le timing implicite, les résultats mettent en avant une absence de déficit du versant perceptif mais un déficit du versant moteur. En effet, les tâches de temps de collision pour lesquelles il est nécessaire d'utiliser l'information temporelle contenue dans le mouvement d'un objet pour prédire sa trajectoire ne sont pas échouées chez des sujets Parkinsoniens (Beudel, 2008 et Bares, 2010 cité par Innocent-Mutel, 2016). Il en est de même pour les tâches de prédiction temporelle pour lesquelles l'individu, suite à une première phase d'association entre un indice visuel et une durée, doit prédire l'apparition d'un stimulus et appuyer le plus rapidement sur un bouton. Le temps de réaction (durée entre apparition stimulus et appui sur le bouton) renseignant sur la précision de la prédiction de la durée mémorisée durant la phase d'association est effectivement amélioré pour des sujets Parkinsoniens (Jahanshahi, 1992 et Praamstra, 2007 cité par Innocent-Mutel, 2016). En contrepartie, le timing implicite moteur semblent impacté puisque le tempo moteur spontané chez les sujets Parkinsoniens est en moyenne similaire à celui du groupe contrôle mais il est globalement plus hétérogène (plus grand écart type interindividuel) et présente une plus grande variabilité intra-individuelle (Schwartz et al, 2011).

Quelques études (Aparicio, 1992 cité par Schwartz et al, 2011 ; Wearden, 2008 cité par Innocent-Mutel, 2016) mettent en avant l'absence de déficit des processus temporels chez les Parkinsoniens. Il peut ici se poser la question du stade et donc de la sévérité des symptômes chez les Parkinsoniens de ces études.

La Figure II-8 rapporte la synthèse des différents processus pouvant être atteints chez les sujets Parkinsoniens. Ces processus temporels sont les mêmes que ceux impliqués dans l'acquisition des habiletés motrices d'après les théories dynamiques du mouvement mais aussi dans les théories cognitives. Ces déficits temporels peuvent être mis en lien avec l'augmentation de la variabilité des paramètres temporels des habiletés motrices tel que la marche.

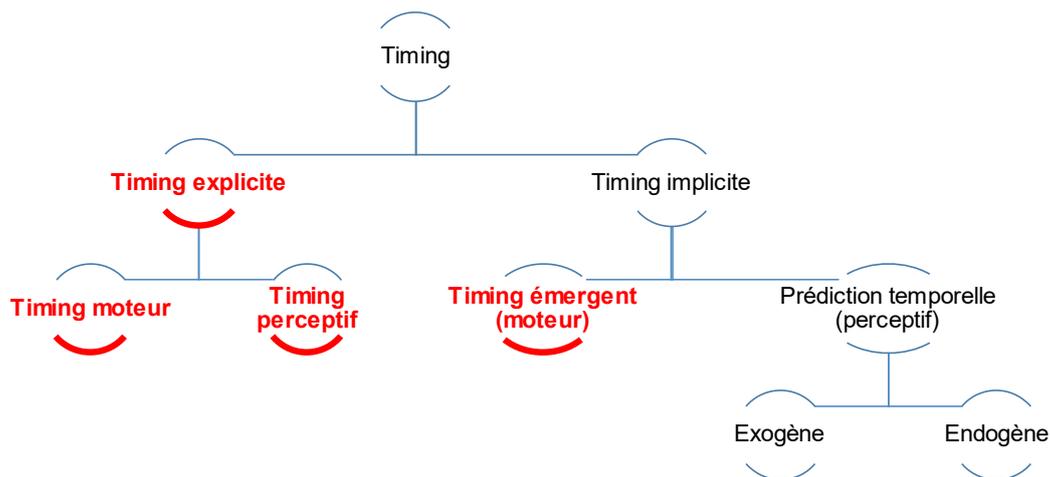


Figure II-8. Processus temporels déficitaires (en rouge) dans la maladie de Parkinson selon la taxonomie fonctionnelle des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

II. Le temps et les fonctions cognitives

1. Lien entre processus temporels et fonctions cognitives

D'après Maniadas et Trahanias (2011) les informations temporelles et spatiales jouent un rôle crucial dans la cognition. Ils parlent ainsi de « cognition temporelle » qui comprend « l'ensemble des fonctions capables d'expérimenter le flux du temps et le traitement des caractéristiques temporelles des phénomènes du monde réel ». Ces fonctions seraient responsables entre-autre : « de la perception de la synchronisation et de l'ordre des événements, de la formation de l'expérience du présent, la perception des différentes granularités temporelles, la conception abstraite et le traitement des durées, le voyage mental dans le passé et le futur et la perspective temporelle des interactions sociales ». L'ensemble de ces fonctions sous-tendant les autres fonctions cognitives telles que la planification, la résolution de problèmes ou les possibilités de différer des actions. Dans cette sous-partie, nous souhaitons faire un résumé des liens entre les processus temporels et les fonctions cognitives de base. Pour cela, nous

aborderons, dans un premier temps, ces liens via les modèles cognitifs des processus temporels et, dans un deuxième temps, nous aborderons de manière séparée les liens spécifiques entre processus temporels avec les processus attentionnels et mnésiques.

a) Utilisation des modèles cognitifs des processus temporels

Une des manières de faire le lien entre les processus temporels et les fonctions cognitives est de repartir des modèles de Gibbon et Church (1984) adaptés par la suite par Zakay et Block (1997) présenté pour mémoire sur la Figure II-9.

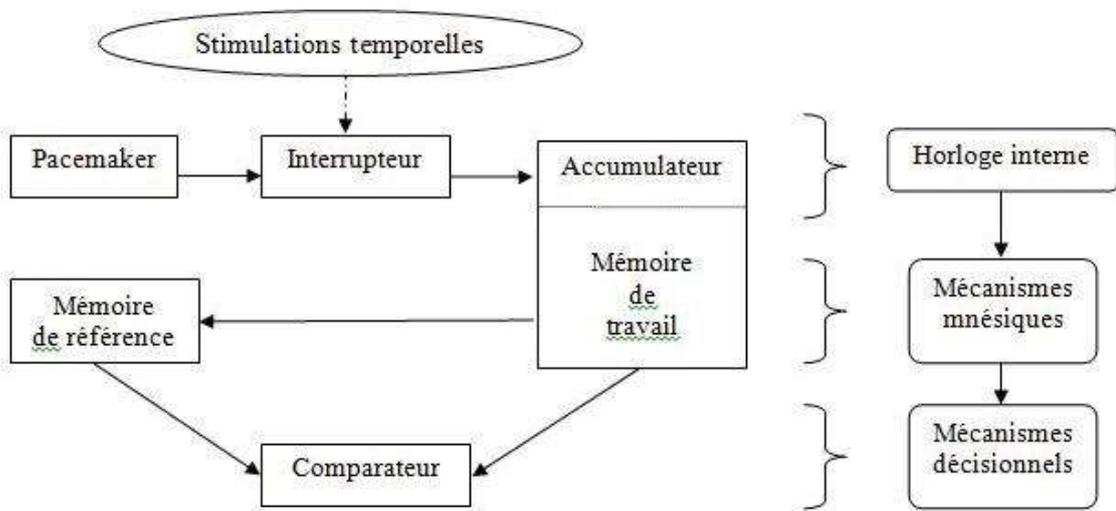


Figure II-9. Schématisation du modèle de l'horloge interne (Gibbon et Church, 1984).

Le modèle d'horloge centrale est ainsi découpé en trois niveaux : l'horloge interne proprement dite, les mécanismes mnésiques et les mécanismes décisionnels. Pour le premier niveau d'horloge interne, l'interrupteur est mis en lien avec des processus attentionnels. Effectivement, l'orientation de l'attention aux phénomènes temporels permet la fermeture de l'interrupteur. Zakay et Block (1997) ajoutent pour cela à ce modèle un élément supplémentaire : la porte attentionnelle. Cette porte, initialement différente de l'interrupteur, permettrait de gérer le flux des impulsions émises par le pacemaker d'une part en permettant le passage (orientation de l'attention) et d'autre part en ajustant la quantité de flux en fonction de l'attention allouée au temps (une faible attention allouée au temps laisserait passer moins de flux de pulsation qu'une forte attention). Pour l'accumulateur, il est mis en lien avec la mémoire à court terme permettant le stockage temporaire des pulsations du pacemaker (Roberts, 1997 cité par Gil, 2008).

Pour le deuxième niveau, les mécanismes temporels regroupent d'une part la mémoire à court terme pour le stockage temporaire des durées et la mémoire à long terme ou mémoire de référence pour le stockage des durées à long terme. Cette mémoire de référence est primordiale pour le jugement de durées actuelles en comparaison de durées antérieures. Par exemple, lors de tâches de bissection temporelle, les sujets doivent lors d'une première phase apprendre deux durées de référence (une courte et une longue) et pendant une phase de test catégoriser des durées dans la catégorie durée courte ou durée longue selon si elles sont, respectivement, plus près de la référence courte ou longue. Les durées standards seraient ainsi stockées dans la mémoire à long terme et les durées tests seraient manipulées dans la mémoire à court terme (Gil, 2008).

Pour le dernier niveau, les processus décisionnels permettent de résoudre une problématique de jugement temporel comme par exemple pour décider quel est le temps adéquat pour réaliser une action (traverser une route en fonction du temps de l'action et de la vitesse des voitures) ou pour donner le résultat de la comparaison de deux durées.

Pour certains auteurs (Burle et Casini, 2001 cité par Gil, 2008 ; Droit-Volet, 2003), il est possible de différencier l'implication de l'attention de celle d'une augmentation de la vitesse de pulsation du pacemaker au travers des tâches de jugement temporel (tache de bissection par exemple). En effet, ils partent du principe, d'une part, que l'effet de l'attention sur le jugement temporel est un effet additif, c'est-à-dire que la distorsion temporelle de la durée est constante quelle que soit la longueur de la durée sur laquelle porte le jugement. Ce résultat peut s'expliquer en faisant un lien avec le modèle d'horloge interne et du rôle de l'attention : lors d'un manque d'attention allouée au temps il y aurait un retardement de la fermeture de l'interrupteur et donc une perte d'impulsion dans l'accumulateur quelle que soit la durée à estimer. D'autre part, une augmentation de la vitesse de pulsation du pacemaker (en lien avec les émotions) se traduit par un effet multiplicatif c'est-à-dire que la distorsion temporelle de la durée est proportionnelle à la longueur de la durée à estimer (la distorsion temporelle est plus importante pour des durées à estimer longues que pour des courtes durées).

Au regard des modèles dynamiques (Jones et Boltz, 1989), le lien est principalement fait avec les processus mnésiques implicite et explicite. La mémoire implicite étant prioritaire lors du développement sur les premiers âges de vie. Nous rappelons que pour ces auteurs la durée est jugée plus ou moins longue en fonction de la place occupée en mémoire (phénomènes plus ou moins complexes et plus ou moins longs).

b) Processus temporels et attentionnels

Même si Lejeune (1998) met en doute la question de la porte attentionnelle comme élément supplémentaire du modèle au profit d'un interrupteur oscillant en fonction de la charge attentionnelle allouée, il est aujourd'hui admis et démontré qu'en fonction de l'attention allouée au temps notre perception temporelle varie. Il existe un raccourcissement subjectif du temps en lien avec le détournement d'attention. Nous avons tous expérimenté la différence de perception subjective entre trois heures d'une conférence ennuyeuse, pour laquelle nous regardons sans cesse notre montre et trois heures d'une conférence passionnante et riche. Pour objectiver ces observations, les auteurs utilisent des tâches d'estimation ou de production temporelle en présence de distracteurs (exemple de Zakay, 1998 cité par Gil, 2008) ou via l'utilisation de doubles tâches (exemple de Zakay, 1993 cité par Taagten et al, 2007). Zakay (1993, cité par Taagten et al, 2007) démontre que lors d'une double tâche (tâche de catégorisation ou de lecture de mots par exemple) la durée reproduite est supérieure et la durée estimée est inférieure à la durée test présentée. Ces observations vont dans le sens d'une sous-estimation du temps en lien avec la diminution de la quantité d'attention allouée au temps. L'auteur met aussi en avant un lien entre la distorsion temporelle observée avec la complexité de la double tâche (utilisation des différentes tâches du stroop : lecture de mot, dénomination couleur, dénomination de la couleur de l'encre utilisée pour écrire les couleurs). Le raccourcissement subjectif du temps est ainsi d'autant plus important que la charge cognitive annexe est forte.

L'attention serait directement en lien avec le fait que le temps nous semble passer plus ou moins vite et donc principalement en lien avec le timing explicite.

c) Processus temporels et mnésiques

Premièrement, il existe une intrication forte entre les processus temporels et mnésiques (mémoire à court terme ou mémoire à long terme) présentés via les modèles cognitifs. Ce lien explique qu'un déficit mnésique entraîne inéluctablement un déficit des processus temporels. Ce lien a été validé par de nombreuses études comme par exemple celles rapportées par Barkley (1997) pour le TDAH ou par Droit-Volet (2001) pour les études autour du développement des processus temporels en lien avec le développement des capacités mnésiques. De manière plus précise, voici quelques exemples :

- l'estimation des durées a ainsi été mise en lien avec les capacités de la mémoire de travail (Droit-Volet, 2001),

- la perception et la mémorisation de l'ordre temporel ont été mises en lien avec les capacités de la boucle phonologique (Burgess et Hitch, 1999 cité par Pereira, 2013),
- la perception et la mémorisation de rythmes seraient en lien avec les capacités de la boucle phonologique (Cambier, 2010 cité par Pereira, 2013),
- la sensation et le vécu du présent seraient définis et interprétés en fonction de la mémoire de travail et de son empan,
- la mémoire à long terme permet de maintenir en mémoire la durée des événements antérieurs comme standard de référence pour le vécu temporel du présent.

Deuxièmement, pour certains auteurs (Brown et al, 2000 et Brown et al, 2007), il existerait un lien de causalité opposé entre les processus temporels et mnésiques mettant en avant qu'un déficit temporel pourrait être à l'origine d'un déficit mnésique (mémoire de travail en particulier). Pour cela, Brown et al (2000 et 2007) pensent que la dimension temporelle est un élément clé pour la mémoire. Ainsi, d'après le modèle OSCAR (OSCillator based Associative Recall - Brown et al, 2000) principalement construit autour de l'analyse de tâche de rappel sériel, les éléments appris et maintenus en mémoire sont associés à une représentation temporelle précise. Cette représentation temporelle serait basée sur un pattern spécifique d'activité oscillatoire regroupant les oscillateurs (neurones déchargeant à une fréquence propre entre 8 et 12 HZ) qui ont déchargé de façon synchrone au début et à la fin de l'item en lien avec le modèle « *striatal beat frequency* » de Matell et Meck (2000) vu dans la partie I de ce mémoire. Les items appris d'une liste sont donc organisés et codifiés dans la mémoire selon deux dimensions : une dimension temporelle (signal contextuel propre) et une dimension qualitative (nature de l'item). Les items de la liste possèdent une organisation temporelle et non uniquement ordinale. Les auteurs expliquent et appuient ces modèles par des phénomènes observés lors de rappel immédiat de listes temporellement organisées :

- les effets de récence et de primauté (éléments au début et à la fin d'une liste sont mieux retenus) seraient en lien avec le fait que le premier et le dernier éléments d'une liste n'auraient qu'un seul élément temporellement adjacent. Ainsi, il existerait moins de confusion possible sur la dimension temporelle nécessaire à l'organisation de la mémoire.
- l'effet d'une meilleure mémorisation d'un item isolé d'un point de vue temporel serait aussi en lien avec la singularité de la dimension temporelle de cet item.

De plus, lors de l'apprentissage de plusieurs listes, il existe une interférence telle que l'item de la liste courante sera d'autant plus fréquemment confondu avec l'item d'une liste précédente possédant la même place temporelle intrinsèque relative (Conrad, 1960 cité par Farrel, 2008).

Brown et Chater (2001, cité par Ndiaye, 2005) utilisent pour cela l'analogie avec la lecture de l'heure sur le cadran d'une horloge. Les listes seraient représentées par l'aiguille des heures et la position des items par l'aiguille des minutes. Ainsi, l'heure 3 :30 est plus susceptible d'être confondue avec 4 :30 qu'avec 4 :15.

Le modèle SIMPLE (*Scale-Invariant Memory Perception and Learning* - Brown et al, 2007) est relié au modèle OSCAR et considère que la trace mnésique est représentée par plusieurs dimensions dont la dimension temporelle qui est l'une des plus importantes comme l'espace. Le modèle prend en compte que la position temporelle de la trace mnésique est située sur un continuum allant du présent vers le passé. Cette ligne temporelle serait compressée de manière logarithmique. De fait, une localisation récente serait plus discriminable (de par sa dimension temporelle) que celle temporellement plus distante (la représentation logarithmique « comprime » les éléments lointains). Les auteurs font l'analogie avec la vision de poteaux téléphoniques lorsque nous sommes dans un train et que nous nous éloignons : les poteaux les plus loin sont moins discernables que les poteaux les plus proches. Les auteurs prennent ainsi en compte qu'il existe plus de confusion pour des événements plus anciens. Finalement, lors de la mémorisation d'éléments d'une liste, la confusion et la discrimination de ces éléments dépendent en partie de la dimension temporelle de la trace mnésique :

- de leur distance temporelle relative intrinsèque à la liste (OSCAR)
- du temps de rappel, dimension temporelle absolue, avec un risque de confusion d'autant plus grand que le temps de rappel est important (SIMPLE).

Ces modélisations de la mémoire ne font pas l'unanimité et manquent de preuves expérimentales. Certains auteurs soutiennent que l'information est organisée et encodée suivant une information d'ordre et une information temporelle (Ng et Maykery, 2005 cité par Farrell, 2008).

En résumé, les processus mnésiques sont fortement intriqués avec les processus temporels et tout particulièrement la mémoire de travail. Les structures anatomiques de ces processus sont similaires : cortex frontal et ganglion de la base et les liens de causalité qui les unis sont, de fait, difficilement explicites.

2. Pathologie : le TDA/H

Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) est un trouble neuro-développemental dont la prévalence en France est de 3 à 5 % (Haute Autorité de Santé, 2015) avec un sex-ratio de 4/1 à 9/1 au profit des garçons. Ce trouble se caractérise par une triade symptomatique : impulsivité, inattention et hyperactivité. Le DSM 5 propose 9 critères d'inattention et 9 critères d'hyperactivité/impulsivité.

D'un point de vue clinique, une personne atteinte d'un TDA/H peut présenter :

- des troubles perceptivo-moteurs tels que des déficits d'exploration visuelle et tactile, des niveaux d'habiletés motrices inférieures à celles attendues à son âge (surtout notable en motricité manuelle), des difficultés visuo-motrices (poursuite de cible, suivi de tracé), des défauts de suppléance sensorielle impactant l'équilibre statique
- des signes neurologiques doux (syncinésies, mouvements anormaux...),
- des troubles affectifs tel que des difficultés de régulation émotionnelle ou des troubles anxieux.

Les études concernant le déficit des processus temporels chez les sujets ayant un TDA/H sont nombreuses. Certains auteurs vont même jusqu'à faire apparaître le déficit des processus temporels au centre des modèles neurocognitifs comme origine probable des troubles observés.

Le premier à théoriser le TDA/H est Barkley (1997), il propose comme modèle explicatif du trouble un déficit des fonctions exécutives. Sonuga-Barke et al (2010) proposent par la suite un nouveau modèle neurocognitif à 2 puis 3 voies. L'auteur propose plusieurs entrées explicatives du TDA/H : déficit du contrôle cognitif, déficit du timing et aversion du délai. Les processus temporels sont alors au centre du modèle et semblent être une des origines explicatives des déficits observés. De Zeeuw et al (2012) viennent conforter cette hypothèse avec la présence de 3 sous-groupes neurobiologiques faisant intervenir 3 circuits neurologiques différents :

- le circuit dorso-frontal striatal en lien avec un déficit du contrôle cognitif,
- le circuit fronto-cerebelleux en lien avec un déficit du timing,
- le circuit ventro-fronto striatal en lien avec un gradient raccourci du délai de récompense.

Concernant les études cliniques sur les déficits des processus temporels, elles mettent en avant un déficit quasi-constant du timing explicite. Le déficit du timing implicite est moins étudié et moins constant dans les études.

Le timing explicite est principalement étudié via des tâches de discrimination et d'estimation de durée (timing explicite perceptif), des tâches de synchronisation sensori-motrice et des tâches de reproduction de durée (timing explicite moteur). Les sujets atteints d'un TDA/H présentent un seuil de discrimination plus élevé, leur discrimination des durées est moins précise et présente plus d'erreurs (voir Noreika et al, 2013 pour revue). D'une manière générale, un sujet porteur d'un TDA/H a tendance à surestimer une durée et sous-produire cette même durée (Barkley, 1997 ; Noreika et al, 2013 pour revue). Tout se passe comme si la personne avec un TDA/H avait une notion subjective du temps plus rapide qu'une personne normotypique. Les tâches de synchronisation sensori-motrice des sujets avec TDA/H présentent une précision moins bonne et une plus grande variabilité des réponses que les stimuli soient visuels ou auditifs (voir Noreika et al, 2013 pour revue).

Le timing implicite est moins étudié au sein de la littérature scientifique traitant du TDA/H et les résultats sont moins saillants que ceux concernant le timing explicite. Le tempo moteur spontané est pour la plupart des auteurs rapportés comme présentant une plus grande variabilité intra-individuelle chez les sujets présentant un TDA/H que ceux du groupe contrôle (Rubia et al, 2003 ; Rommelse et al, 2008 ; voir Noreika et al, 2013 pour revue). Rubia et al (2003) rapportent également une plus grande variabilité et une moins bonne précision dans des tâches d'anticipation sensori-motrice (timing implicite perceptif exogène) ainsi qu'un nombre plus élevé d'erreurs dans des tâches de prédiction sérielle (timing implicite perceptif endogène). Au vu de nos recherches, seuls Stevens et al (1970 cité par Soppelsa et al, 2006) rapportent une augmentation du tempo moteur spontané chez des enfants avec un TDA/H par rapport à un groupe contrôle. Toutefois Carrer (2015) met en évidence que cette augmentation n'est pas statistiquement significative.

En résumé, les différents processus temporels impactés pour des personnes avec un TDA/H sont répertoriés sur la Figure II-10. L'ensemble des différents timings semblent ainsi impactés même si le déficit est moins constant et plus hétérogène pour le timing implicite. Ces différents déficits des processus temporels sont couramment rapprochés et associés aux autres troubles cognitifs telle que la mémoire de travail et l'attention (surtout lors de tâche en lien avec le timing explicite ayant une durée supérieure à la seconde). Les déficits temporels peuvent être mis en lien avec les difficultés : d'organisation de l'action immédiate, de la planification à moyen terme, dans les activités motrices, dans la perception et la conceptualisation du passé et du futur, d'accélérer et décélérer un mouvement ainsi qu'avec les difficultés de différer.

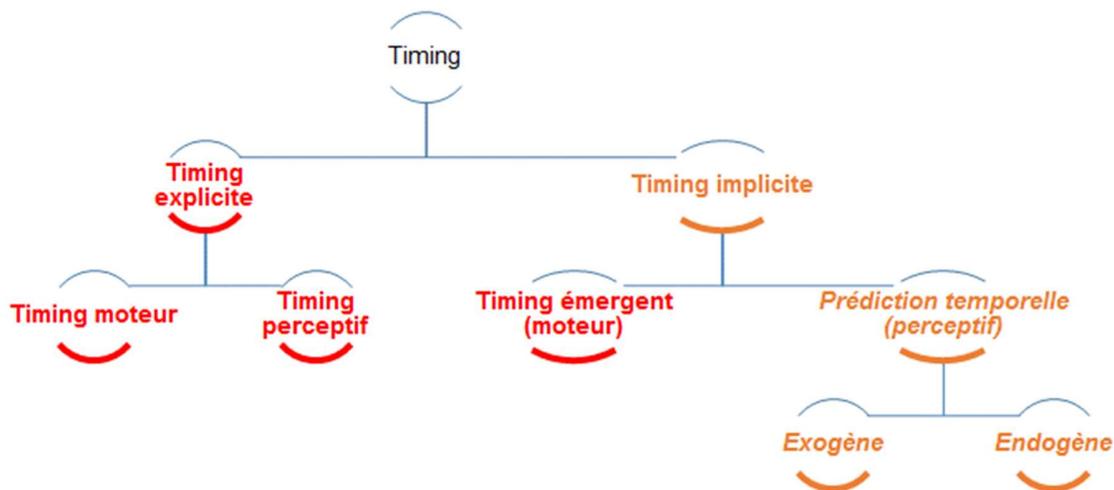


Figure II-10 Processus temporels déficitaires (en rouge) et potentiellement déficitaires (en orange - nécessité de confirmation des résultats préliminaires) dans la TDA/H selon la taxonomie fonctionnelle des processus temporels de Coull et Nobre (2008).

III. Le temps et les habiletés sociales

Les habiletés sociales sont définies comme étant l'ensemble des comportements verbaux et non verbaux qui résultent de processus cognitifs, affectifs et moteurs qui permettent au sujet d'atteindre ses objectifs tout en maintenant une relation durable avec autrui. Les habiletés sociales regroupent de nombreuses capacités dont la capacité à percevoir et comprendre un message (habiletés réceptives), bien définir ces objectifs, choisir une réponse adéquate (habiletés décisionnelles) et émettre une réponse appropriée au bon moment par rapport à la situation (habiletés comportementales).

Le timing est un point important dans les habiletés sociales pour plusieurs raisons : rythme d'élocution d'une réponse, timing avec lequel on donne cette réponse et anticipation du timing des comportements d'autrui. L'objectif de cette partie est de faire un point sur l'impact des émotions sur le jugement temporel puis nous rapporterons les résultats des études traitant de l'influence du timing dans les interactions sociales. Pour finir, nous illustrerons cette partie avec deux exemples de pathologies rencontrées par les psychomotriciens : la dépression et le trouble du spectre autistique.

1. Émotions et interactions sociales

a) Émotions

Les émotions sont des états physiologiques (réponse aspécifique du corps), cognitifs (sentiment en lien avec émotion) et comportementaux (ou expressifs en lien avec la posture ou la voix). Ces états sont furtifs de quelques secondes en lien avec un contexte. Les émotions peuvent être caractérisées :

- par une démarche dimensionnelle en considérant leur valence (positive ou négative) ainsi que par leur intensité.
- par une démarche catégorielle en considérant des émotions primaires, universelles et innées et des émotions secondaires apprises par apprentissage social (Ekman et Friesen, 1976 cité par Droit-Volet et al, 2013). Les auteurs s'accordent pour parler de 6 émotions primaires : colère, joie, tristesse, surprise, dégoût et peur.

Les études concernant l'impact des émotions sur le timing implicite sont, à notre connaissance, peu nombreuses et ne concernent que le tempo moteur spontané. Kirstimon (1977) et Boltz (1994) (cité par Méary, 2010) défendent l'idée que le tempo moteur spontané est en lien avec les facteurs biologiques et physiologiques non spécifiques de l'individu. Perilli (1995 cité par Méary, 2010) montre aussi qu'il existe un lien entre le tempo moteur spontané et les paramètres neurophysiologiques organisant les processus cognitifs et émotionnels. La vitesse du tempo moteur spontané diminue lorsque la personne éprouve de la tristesse et augmenterait lorsque la personne ressent de la colère.

Il existe dans la littérature de nombreuses études portant sur l'impact des émotions dans le jugement temporel (timing perceptif explicite). Nous avons construit cette partie en s'appuyant sur quatre documents faisant une synthèse de littérature : la thèse de Gil (2008) et les articles de Droit-Volet et Gil (2009), Droit-Volet et al (2013) et Maniadakis et al (2014).

Les études portant sur l'impact des émotions sur le jugement temporel s'appuient soit sur une démarche dimensionnelle (Angrilli et al, 1997 cité par Droit-Volet et Gil, 2009) soit sur une démarche catégorielle (Droit-Volet et Gil, 2009 ; Gil, 2008) pour caractériser les stimuli émotionnels. Les stimuli émotionnels utilisés sont d'origines variées :

- image de scène chargée affectivement (International Affective Picture System – IAPS, Lang et al, 1999 cité par Droit-Volet et al, 2013).

- image de visage chargée émotionnellement (Ekman et Friesen, 1976 cité par Droit-Volet et al, 2013).
- son avec connotation émotionnelle (International Digitized Sound System – IDSS, Bradley et Lang, 1999 cité par Droit-Volet et al, 2013).
 - odeur plaisante ou déplaisante (Schreuder et al, 2014 cité par Maniadakis et al, 2014).
 - musique (Peretz et al, 1998 cité par Droit-Volet et al, 2013).

Il est important de noter que l'utilisation de ces différents stimuli rend l'analyse des résultats plus complexe puisque l'origine du stimulus a un impact direct sur le contexte (un son strident qui fait peur est différent d'une image d'un serpent et encore différent d'une image d'un visage exprimant la peur). Nous verrons que le contexte associé à l'émotion a aussi son impact sur le jugement temporel.

Les résultats les plus distincts concernent ceux obtenus en utilisant des stimuli avec une valence fortement négative et entraînant un haut niveau de vigilance (Maniadakis et al, 2014 ; Droit-Volet et al, 2013). Ces stimuli entraînent une distorsion systématique se traduisant par une surestimation des durées en comparaison à des stimuli neutres. Par exemple, la présentation de visage exprimant la colère par rapport à des visages neutres entraînent une surestimation du temps objectivée par des tâches de bissection temporelle ou des tâches d'estimation de durée (Tipples, 2008 ; Bar-Hain et al, 2010 cités par Droit-Volet et al, 2013). Des résultats similaires sont observés lors de la présentation d'images chargées d'émotion invoquant le danger ou un évènement très inconfortable (corps mutilé) (Angrelli et al, 1997 ; Grommet et al, 2010 cités par Droit-Volet et al, 2013) ou lors de la présentation de sons très déplaisants (Mella et al, 2010 cité par Droit-Volet et al, 2013). Les auteurs expliquent cette distorsion du temps en lien avec l'adaptation efficace de l'organisme avec son environnement. En effet, lors de la présentation de stimuli fortement négatif et entraînant un haut niveau de vigilance l'organisme se doit de se préparer à l'action comme par exemple combattre une personne agressive ou fuir un danger. D'après les auteurs, les hypothèses qui pourraient expliquer le mécanisme de cette distorsion temporelle sont :

- une accélération de l'horloge interne associée à l'augmentation du niveau de vigilance (augmentation du rythme cardiaque, de la respiration....). Les auteurs qui mettent en avant cette hypothèse se basent sur le fait qu'ils observent un effet multiplicatif de la surestimation en lien avec les propriétés scalaires du temps. La distorsion temporelle est d'autant plus grande que la durée à percevoir est longue. La valeur de la surestimation temporelle est proportionnelle à la durée.

- une modification de l'attention allouée au temps. Les auteurs s'appuient sur l'observation d'un effet additif et non multiplicatif de la distorsion temporelle. La distorsion est toujours la même quelle que soit la durée à percevoir. Ceci peut être expliquée en s'appuyant sur le modèle cognitif de l'horloge interne de Zakay et Block (1997). En effet, dans le cas d'un stimulus alarmant, il y aurait une fermeture anticipée de la « porte attentionnelle » qui entrainerait une augmentation du nombre de pulsation inclus au début du stimulus. Ce nombre de pulsation supplémentaire s'ajouterait à la durée du stimulus indépendamment de sa durée totale.

Les résultats concernant les autres émotions dont la valence n'est pas fortement négative et le niveau de vigilance pas très haut sont beaucoup plus mitigés. L'impact de l'émotion sur la perception du temps devient alors plus complexe car le jugement temporel est influencé non seulement par l'émotion mais aussi par de nombreux autres facteurs tel que le contexte (Droit-Volet et al, 2013 ; Maniadakis et al, 2014). Lors de l'utilisation de musique par exemple, le jugement temporel est influencé par l'émotion générée mais aussi par le tempo propre de la musique (Droit-Volet et Wearden, 2002 cité par Droit-Volet et al, 2013). Un autre exemple concerne celui de la distorsion temporelle observée en lien avec le dégoût. La Figure II-11 rapporte trois types de stimuli pouvant être présentés pour générer une émotion du dégoût. Les auteurs ont montré que la première image de gauche présentant une expression de dégoût sans contexte bien défini n'entraînait pas de distorsion temporelle. En contrepartie, les deux autres images entraînent des distorsions temporelles opposées l'une à l'autre : l'image du corps mutilé entraîne une surestimation temporelle alors que l'aliment répugnant entraîne une sous-estimation (Droit-Volet et Meck, 2007 cité par Droit-Volet et al, 2013). Ces différences observées dans la distorsion temporelle est mise en lien avec le contexte de l'émotion et les motivations de l'action. Dans le cas du corps mutilé, l'horloge interne s'accélérerait en lien avec le contexte de peur, de douleur ou de danger associé implicitement (activation de l'horloge prépondérante) tandis que pour l'aliment répugnant il y aurait un détournement de l'attention de manière prépondérante.



Figure II-11. Stimuli utilisés pour l'émotion du dégoût (de gauche à droite) : expression de dégoût, scène de dégoût de l'IAPS (image n°9405), aliment répugnant (d'après Droit-Volet et al, 2013).

Finalement, certains auteurs font également le lien avec le concept de cognition incarnée et parlent de timing incarné (Droit-Volet et Gil cité par Droit-Volet et al, 2013 ; Chambon et al, 2005). Pour ces auteurs, les jugements temporels seraient impactés par le changement de l'état émotionnel et sensori-moteur en lien avec nos expériences passées réactivées durant le processus temporel. La réactivation en mémoire d'action ou d'évènements antérieurs pourraient influencer notre jugement temporel. Ce processus expliquerait le jugement temporel primitif chez les enfants de moins de 6 ans pour lesquels le concept de temps unifié n'est pas encore en place. Comme nous l'avons vu précédemment, pour ces enfants, l'estimation subjective du temps est incarnée dans leur expérience émotionnelle et sensori-motrice et leurs propriétés dynamiques intrinsèques. Droit-Volet et al (2013) ont ainsi soumis des sujets à des tâches de bissection temporelle avec deux types de standards : 100 et 400 ms pour un essai et 200 et 800 ms pour l'autre. Les durées sont matérialisées par l'apparition pendant une durée donnée d'une image présentant soit une silhouette en position statique soit une silhouette qui marche ou soit une silhouette qui court. Le sujet doit alors dire si la durée présentée se rapproche du standard court ou long. Les résultats montrent que la durée estimée pour l'image avec la silhouette qui court ou qui marche est systématiquement surestimée par rapport à la silhouette statique et d'autant plus lorsqu'il s'agit de l'image avec la silhouette qui court. Les auteurs parlent de la réactivation en mémoire de l'action ou encore de timing incarné en lien avec les neurones miroirs (activation des neurones lors de l'observation d'image en lien avec une action dirigée vers un but).

b) Interactions sociales

Les interactions sociales sont régies par des normes sociales dont la dimension temporelle intervient d'une part dans la durée (faire une demande à quelqu'un ne doit ni être trop courte au risque d'être incomplète ni trop longue au risque d'être ennuyeuse) et d'autre part dans le rythme en fonction des exigences normatives du rôle et de la situation (par exemple un professeur qui fait un cours magistral avec des prises de note doit adopter un rythme d'élocution adéquat). Ainsi la durée et le rythme de nos comportements sociaux sont en partie responsables de la qualité des liens sociaux, de la réussite de nos interactions et l'acceptation ou le rejet de nos demandes. Gil parle du temps comme « chefs d'orchestre des interactions sociales » (Gil et Droit-Volet, 2009). L'acquisition de ses normes sociales temporelles repose sur des normes acquises et intériorisées lors de la socialisation et la perception temporelle des situations du quotidien.

Conway (2004, cité par Droit-Volet et al, 2013) a montré que le sens du temps devient similaire pour des personnes qui interagissent, ce qui n'est pas le cas si elles n'interagissent pas. De même, Pouthas et al (1993, cité par Droit-Volet et Gil, 2009) ont observé une synchronisation du bébé avec sa maman : synchronisation dans les vocalises et dans les mouvements lors de leur interaction. Cette synchronisation est indispensable pour prédire le timing du comportement d'autrui et pour répondre à un rythme adéquat et au bon moment.

Cette synchronisation avec la personne avec laquelle on interagit est expliquée de deux manières différentes dans la littérature d'une part via le phénomène d'empathie (en lien avec l'impact des émotions sur les processus temporels) et d'autre part via l'intégration de stéréotypes sociaux. Concernant le premier point, Mondillon et al (2007, cité par Droit-Volet et al, 2013) ont mis en évidence que plus la personne est empathique (quotient d'empathie évalué via une échelle standardisée) plus elle possède une distorsion temporelle en lien avec l'expression faciale d'autrui. Concernant le deuxième point, la psychologie sociale définit les stéréotypes sociaux comme des connaissances abstraites relatives aux groupes sociaux, représentations mentales présentes en mémoire à long terme. Par exemple, les personnes âgées sont perçues comme particulièrement lentes sur le plan physique et mental (Hense et al, 1995 cité par Chambon et al, 2005). L'activation de la catégorie personne âgée entraîne, d'après l'étude de Chambon et Droit-Volet (2004, cité par Chambon et al, 2005), une sous-estimation des durées lors de tâche de bissection temporelle imputable à un ralentissement de l'horloge interne. En effet, lors de cette étude, les auteurs utilisent deux essais de bissection temporelle avec des standards de 400 et 1600 ms pour un essai et de 600 et 2400 ms pour l'autre. Les résultats montrent un effet multiplicatif de la distorsion temporelle (la valeur de la surestimation est proportionnelle à la durée à estimer). Comme nous l'avons vu précédemment, ce résultat en lien avec les propriétés scalaires du temps permet d'affirmer qu'il s'agit d'une accélération des pulsations de l'horloge interne et non en lien avec un phénomène d'attention. Ainsi, ce ralentissement automatique de l'horloge interne permettrait en partie d'expliquer le ralentissement de nos activités motrices et cognitives lors de nos interactions avec des personnes âgées (Chambon et al, 2005).

2. Pathologies : la dépression et le TSA

Dans cette sous-partie, nous aborderons deux pathologies que le psychomotricien peut être amené à rencontrer. La première concerne un trouble de l'humeur : la dépression majeure et la seconde est un trouble neuro-développemental pour lequel il existe un trouble des interactions sociales : le trouble du spectre autistique (TSA).

a) La dépression majeure

Des troubles de l'humeur catalogués dans le DSM 5 la dépression majeure est le trouble de l'humeur le plus fréquent. La dépression majeure est caractérisée par une humeur dépressive marquée par un sentiment de tristesse ou de vide, une diminution significative de l'intérêt et du plaisir à réaliser les activités du quotidien. Il est également noté un ralentissement cognitif et moteur général. De nombreux écrits de patients ou questionnaires rapportent un sentiment que le temps passe plus lentement (Bech, 1975 et Blewet, 1999 cité par Gil, 2008 ; Ratcliffe, 2012 cité par Droit-Volet et al, 2013 ; Gallagher, 2012). Cependant, cette évaluation subjective du temps par les patients ne permet pas à elle seule de conclure quant à la présence ou non d'une distorsion temporelle effective.

A notre connaissance, les études concernant la distorsion temporelle chez les personnes dépressives se sont principalement intéressées aux timing explicite perceptif et moteur. Certaines études telles que celles de Beck (1975) et Hawkins et al (1988) (cité par Gil, 2008) ne mettent pas en lien la dépression avec des troubles des processus temporels. Cependant, aujourd'hui de nombreux auteurs s'accordent à dire qu'il existe une sous-estimation du temps chez des personnes dépressives lors de tâche de production ou d'estimation verbale par rapport à des sujets contrôles (voir Gil, 2008 ; Grondin et al, 2006 ; Droit-Volet et al, 2013 pour des revues détaillées). Par exemple, Bschor et al (2004, cité par Grondin et al, 2006) ont utilisé des tâches de production de durée et d'estimation verbale pour des durées allant de 7 à 109 s. Les patients dépressifs ont produit des durées plus longues et ont sous-estimé verbalement les durées par rapport aux sujets contrôles. L'ensemble de ces résultats montrent une sous-estimation de l'ensemble des durées chez des patients dépressifs comme si le temps était plus lent. A ce titre, Tysk (1984 cité par Gil, 2008) demande à des sujets dépressifs et contrôles d'effectuer un tapping digital jusqu'à 10 en donnant une frappe par seconde. Les personnes dépressives mettent plus de temps que les sujets contrôles à effectuer cette tâche, le temps est compté plus lentement. Dans la littérature, il existe deux hypothèses concernant cette sous-estimation du temps :

- une en lien avec l'attention. Les personnes dépressives alloueraient moins d'attention aux phénomènes temporels que des sujets contrôles et de fait, sous-estimeraient les durées écoulées (Sévigny et al, 2003 cité par Gil, 2008).

- une en lien avec le rythme de l'horloge interne. Les personnes dépressives auraient un rythme de l'horloge interne plus lent que des personnes non dépressives (Bschor et al, 2004 cité par Grondin et al, 2006 ; Gil, 2008 ; Gil et Droit-Volet, 2009). Pour appuyer cette hypothèse, dans la thèse de Gil (2008 aussi repris dans l'article Gil et Droit-Volet, 2009) 92 personnes dépressives

et non-dépressives sont soumises à des tâches de bissection temporelle. Dans une première phase des standards de durée sont présentées (400 et 1600 ms). Dans une deuxième phase, différentes durées comprises entre les deux standards sont présentées aux sujets qui doivent alors dire si la durée est plus proche du petit ou du grand standard. Statistiquement, les personnes dépressives sous-estiment le temps par rapport aux sujets contrôles. Par ailleurs, les auteurs observent un effet multiplicatif de cette distorsion (le raccourcissement de la durée est proportionnel à la durée à estimer), cette caractéristique permet de mettre en avant une diminution du rythme de l'horloge interne par rapport à un défaut d'attention. Nonobstant ce ralentissement de l'horloge interne, les auteurs n'excluent pas l'influence des autres phénomènes cognitifs dans la distorsion temporelle.

Il existe une corrélation négative entre la sévérité de la dépression et l'estimation du temps chez les personnes dépressives (plus la personne a un niveau de sévérité élevée moins l'estimation est bonne – raccourcissement subjectif du temps plus important) (Gil, 2008 ; Sévigny et al, 2003 cité par Grondin et al, 2006). De plus, Gil (2008) met également en avant une corrélation entre le niveau de tristesse (évaluée par un questionnaire) et la distorsion temporelle.

D'après les études sur les processus temporels chez les personnes dépressives, il existerait un trouble du timing explicite perceptif et moteur allant dans le sens d'un ralentissement du temps. Ces troubles peuvent être mis en lien avec le sentiment de tristesse ainsi qu'avec le ralentissement moteur et cognitif visible chez les personnes dépressives.

b) Le trouble du spectre autistique

Le trouble du spectre autistique (TSA) est un trouble neuro-développemental caractérisé, d'après le DSM 5, par la diade symptomatique suivante :

- altération qualitative des interactions sociales dont notamment la régulation interpersonnelle, le partage d'intérêt et la réciprocité émotionnelle et de la communication verbale (expression et compréhension) et non verbale.
- caractère restreint, répétitif et stéréotypé des comportements et des intérêts.

A ces symptômes diagnostiques s'ajoutent d'autres caractéristiques fréquentes telles qu'une hyper ou hypo sensibilité perceptive (visuel, acoustique ou kinesthésique), une difficulté d'intégration multi-sensorielle, un dysfonctionnement des coordinations motrices, un trouble attentionnel, un défaut de planification et d'anticipation des ajustements posturaux (Falter et Noreika, 2012 ; Gepner, 2002 et 2006 ; Boucher, 2001). De nombreux auteurs relèvent aussi chez

des personnes avec un TSA, une difficulté à percevoir le sens du temps se traduisant par une expérience anormale du temps (Gepner, 2002 et 2006), un manque de continuité (Boucher, 2001) et une perspective anormale du passé, du présent et du futur (Zukauskas et al, 2009 cité par Falter et Noreika, 2012). Peeters et Gilberf (1997 cité par Boucher, 2001) parlent des personnes atteintes d'un TSA comme étant « perdu dans la mer du temps » et pour compenser ce manque de visibilité temporelle ces personnes mettraient en place des routines et des rituels quotidiens pour rythmer la journée. Trevarthen et Daniel (2005 cité par Falter et Noreika, 2012) mettent en avant que le premier signe chez enfant atteint d'un TSA serait une désynchronisation des interactions sociales entre le bébé et ses parents.

Les études sur les processus temporels chez les sujets atteints du TSA sont principalement orientée vers des tâches de timing explicite perceptif et moteur.

Concernant le timing explicite moteur, les auteurs s'accordent à dire qu'il existe un déficit temporel dans ce domaine observé au travers de tâches de reproduction de durées (Szelag et al, 2004 ; Martin et al, 2010 et Maister et plaister, 2011 cité par Falter et Noreika, 2012) et de tâches de tapping (Gowen et Miall, 2005 cité par Falter et Noreika, 2012). Szelag et al (2004) utilisent des tâches de reproduction de 10 durées comprises entre 1 et 5,5 secondes à partir de stimuli auditifs ou visuels. Les sujets sont des enfants d'âge moyen de 12 ans avec un TSA ou avec un développement neuro-typique. Les auteurs observent une précision moins bonne ainsi qu'une plus grande variabilité dans les reproductions de durée pour les enfants avec un TSA par rapport au groupe contrôle et ce quelle que soit la modalité du stimulus. Par ailleurs, indépendamment de la durée du stimulus les enfants atteints d'un TSA reproduisent une durée moyenne de 3 à 3,5 secondes. Ainsi les durées courtes sont sur-reproduites et les durées longues sont sous-reproduites. Il est important de noter que pour cette étude, il existe un défaut de correspondance entre le groupe avec un TSA et le groupe contrôle en termes d'âge de développement. Martin et al (2010 cité par Falter et Noreika, 2012) rapportent également une diminution de la précision et une augmentation de la variabilité lors de reproduction de durée (stimuli auditifs compris entre 0,5 et 4,1 secondes) pour des adultes avec un TSA haut-niveau par rapport à un groupe contrôle. Maister et Plaisted (2011 cité par Falter et Noreika, 2012) rapportent un résultat similaire en utilisant des stimuli visuels d'une durée comprise entre 0,5 et 45 secondes. Gowen et Miall (2005 cité par Falter et Noreika, 2012) utilisent une tâche de tapping (avec le doigt) pour une synchronisation et une continuation (IIS compris entre 400 et 800 ms soit un BPM compris entre 75 et 150). Le groupe de sujet atteint d'un TSA (type Asperger suivant l'ancienne classification)

juge systématiquement l'intervalle plus court, il existe donc une anticipation de la frappe et il existe une plus grande variabilité par rapport au groupe contrôle.

Concernant le timing explicite perceptif, les principales tâches utilisées sont des tests d'acuité temporelle, des tâches de bissection temporelle et des tâches de généralisation. Les résultats autour de l'acuité temporelle sont dépendants de la modalité utilisée pour les stimuli. En effet, l'acuité temporelle visuelle est similaire (Kwakye et al, 2011) voir supérieure (Falter, Elliott et Bayley (2012 cité par Falter et Noreika, 2012)) pour des personnes atteintes d'un TSA par rapport à un groupe témoin. Par contre, l'acuité temporelle auditive ou multi-sensorielle semble déficitaire pour des personnes atteintes d'un TSA (Kwakye et al, 2011). Kwakye et al (2011) utilisent une tâche de jugement d'ordre temporel. Pour cela, ils demandent aux sujets (avec ou sans TSA) de dire sur deux stimuli lequel est apparu le premier : (i) pour la modalité visuelle, il s'agira du stimulus situé en haut ou en bas de l'écran, (ii) pour la modalité multi-sensorielle, les stimuli visuels sont accompagnés d'un son, (iii) pour la modalité auditive, il s'agira du stimulus perçu par l'oreille droite ou gauche. Les auteurs mettent en avant que l'acuité temporelle visuelle est similaire pour le groupe de sujets atteints d'un TSA par rapport au groupe contrôle tandis que l'acuité temporelle auditive et multi-sensorielle est moins bonne pour le groupe de sujets atteint d'un TSA. Concernant les tâches de bissection temporelle et de généralisation, les auteurs (Allman et al, 2011 et Falter et al, 2013 cités par Falter et al, 2012) mettent en avant une sensibilité de discrimination temporelle plus faible et une plus grande variabilité chez des enfants avec un TSA par rapport à un groupe contrôle et en particulier lors de stimuli auditif.

Boucher (2001) parle d'un déficit d'un système de « *time-parsing* » qui permet de concevoir le temps unifié au travers de différentes échelles de durée. Pour cela l'auteur fait une analogie avec la présence de 3 horloges distinctes, non interconnectées chez les sujets avec un TSA : une horloge pour les heures, une pour les minutes et une pour les secondes. Les personnes avec un TSA auraient donc une bonne perception des séquences linéaires temporelles comprenant donc une seule échelle de temps à la fois (absence de déficit lors de tâche répétitives de tâche de tapping d'après Minshew et al, 1997 cité par Boucher, 2001) mais une perception déficitaire des séquences temporelles hiérarchiques (difficulté d'encoder un évènement bref dans un ensemble ou séparer un évènement global en différentes parties successives). Ces déficits entraîneraient un défaut de perception, d'acquisition et de fonctionnement du langage et de la communication ainsi qu'un déficit dans la réciprocité d'interaction sociale. La mise en place de routine permettrait de s'inscrire dans une succession linéaire mieux comprise par ces personnes.

Gepner (2002 et 2006) met en avant l'hypothèse explicative d'un défaut d'intégration temporo-spatiale des flux sensoriels visuels, auditifs et proprioceptifs. La démarche s'appuie sur des éléments autobiographiques, cliniques et expérimentaux. La Figure II-12 présente les désordres secondaires pouvant être expliqués par le défaut d'intégration temporo-spatial.

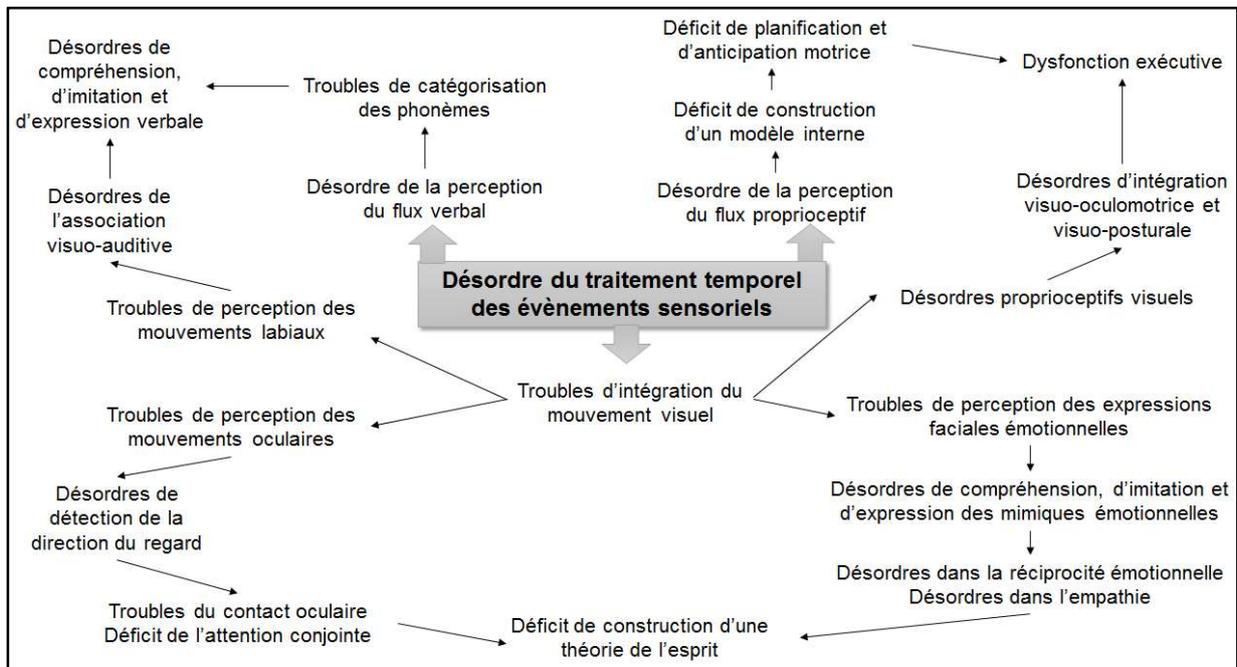


Figure II-12 Schématisation des désordres secondaires à des désordres de traitement temporo-spatial des flux sensoriels dans l'autisme (Gepner, 2006).

Comme nous pouvons le voir sur la Figure II-12, en fonction de la modalité sensorielle impactée (visuelle, auditive ou proprioceptive), Gepner (2006) explique les troubles symptomatiques rencontrés chez des sujets atteints du TSA :

- le désordre de la perception du flux verbal serait à l'origine du déficit de la communication verbale.
- le désordre de la perception du mouvement visuel expliquerait le déficit dans la communication non verbale, la perception des émotions d'autrui, de l'imitation, de l'attention conjointe et finalement de la théorie de l'esprit.
- le désordre de la perception du flux proprioceptif entraînerait le déficit de planification et d'anticipation motrice.

Gepner (2006) met en avant que l'inscription des informations multi-sensorielles chez un sujet avec un TSA se ferait de manière fragmentée, désynchronisée et à retardement alors qu'elle est continue, synchronisée et cohérente chez un sujet neuro-typique. L'auteur parle d'un « monde trop rapide » pour ces personnes et d'une difficulté de se lier et s'accorder au temps réel.

IV. Les processus temporels : abord thérapeutique

L'objectif de cette sous-partie est dans un premier temps de faire un tour d'horizon rapide des différents tests d'évaluation des processus temporels existant et à disposition des psychomotriciens. Dans un deuxième temps, nous rapportons les différentes prises en charge des processus temporels ayant fait l'objet de publication.

1. L'évaluation des processus temporels

Le Test de Stambak (1960 et nouvel étalonnage Pireyre, 2000) est actuellement celui qui semble le plus utilisé par les psychomotriciens. Ce test propose une épreuve avec cotation et étalonnage qui permet d'évaluer : le tempo moteur spontané, la reproduction de structures rythmiques (reproduction après écoute uniquement), la compréhension et la reproduction de structures rythmiques (prise en compte de la conceptualisation schématique simple du rythme). Le tempo moteur spontané est obtenu en demandant au sujet de taper avec l'index sur la table 21 coups, la régularité est appréciée subjectivement et le temps est chronométré pour obtenir le tempo spontané. La reproduction de structures rythmiques consiste à demander au sujet de reproduire une structure rythmique préalablement réalisé par le psychomotricien en frappant avec un crayon sur la table. Le sujet ne doit pas voir le stylo de l'expérimentateur, seule la modalité

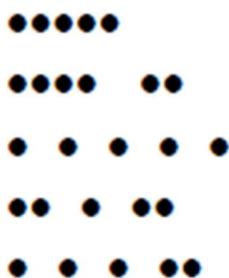


Figure II-13. Structure rythmique Stambak (1960)

auditive est testée. L'ensemble de l'épreuve est composé de 17 structures rythmiques constituées de 4 à 7 éléments et présentées dans un ordre croissant de difficulté (exemple de structure rythmique donnée sur la Figure II-13). La compréhension et la reproduction de structure rythmique se base sur le principe que le psychomotricien explique comment décoder les symboles des différentes structures rythmiques et l'enfant doit ainsi les lire et les reproduire. Cette dernière partie est fortement dépendante de la compréhension de la conceptualisation des rythmes par des symboles.

L'avantage de cet outil est qu'il est rapide et adapté pour une passation lors d'un bilan complet. Ses inconvénients sont qu'il ne cible pas tous les timings et que sa cotation reste en grande partie subjective (mesure de la variabilité par exemple).

Le bilan de Marthe Vyl est destiné à des enfants de 3 à 18 ans (Duriau, 2002 ; Fauvel 1995 et 2007). Ce bilan possède une notation et un étalonnage sur une large population n'ayant pas encore fait l'objet d'une validation statistique. Durant la passation, la musique est utilisée pour accompagner le sujet. Le rythme et le tempo à utiliser est défini de manière précise dans le cahier

de passation. L'utilisation de musique improvisée permet de tester un large panel de domaines psychomoteurs dont les processus temporels renvoyant au timing moteur et perceptif. Les différents processus temporels évalués au long du bilan sont : (i) le tempo spontané, (ii) la synchronisation et la continuation de tempo et de rythme (le sujet est invité à reproduire et continuer de marcher aux différents tempi proposés au piano), (iii) la reproduction de rythmes (accompagnement en frappant des mains de 4 rythmes scandés au piano), (iv) la comparaison de durées (comparaison de durée d'accord en fonction d'un modèle présenté avant chaque durée test). D'après la classification de Coull et Nobre (2008) seul le timing implicite perceptif (prédiction temporelle) n'est pas évalué. Bien que ce bilan fût à l'époque très bien détaillé dans les consignes et la notation, il apparaît aujourd'hui un besoin de travailler sur une passation laissant une part moins importante à la subjectivité dans la notation et il nécessite également la mise en place d'un étalonnage standardisé.

Il existe également des questionnaires sur le temps conventionnel tel que celui de Quartier (2008, cité par Pereira, 2013). Outre le fait qu'ils pourraient éventuellement mettre en avant un déficit de perception temporelle, ils sont prioritairement dépendants de la compétence du sujet à manipuler et utiliser verbalement les notions et les concepts temporels.

En parallèle de ces tests étalonnés, il existe des tentatives de développement de tests à visée de recherche sur les processus temporels utilisés sur des groupes restreints de sujet en lien direct avec l'étude. Cependant, L'équipe « Rythme et Synchronisation » du laboratoire de recherche Euromov (Université de Montpellier) a développé un outil de recherche et d'évaluation, au sens large du terme, des processus temporels : *Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities - BAASTA* (Dalla-Bella et al, 2016). Cette batterie de tests est implémentée sur tablette tactile. Les performances des sujets testés sont enregistrées, puis traitées à posteriori. La batterie comporte différentes tâches de timing perceptif et moteur.

Pour le timing perceptif, il y a :

- une tâche de discrimination de durées dans laquelle le sujet doit dire si les deux stimuli auditifs ont la même durée ou non.
- une tâche de détection d'anisochronie avec métronome qui consiste à détecter si un changement de rythme est apparu dans la séquence ou non.
- une tâche d'anisochronie avec séquences musicales (piano) dans laquelle le sujet doit dire s'il a perçu ou non un changement de rythme

- une tâche d'alignement de « *beats* » pour laquelle une séquence musicale est jouée sur laquelle vient s'ajouter un triangle (instrument de percussion) qui va jouer de manière synchrone ou non (plusieurs tempi sont étudiés, IIS de 450, 600 et 750 ms soit 80, 100 et 133 BPM).

Pour le timing moteur, il y a :

- le tempo moteur spontané libre, le plus lent possible et le plus rapidement possible pendant 60 secondes. Le tempo est marqué par la pulsation de l'index de la main dominante du sujet. La vitesse et la variabilité sont analysées.

- la synchronisation sur séquence isochrone (métronome avec plusieurs tempi : IIS de 450, 600 et 750 ms soit 80, 100 et 133 BPM) et sur de la musique (IIS 600 ms soit 100 BPM). La précision et la variabilité sont relevées.

- la synchronisation et la continuation sur séquence isochrone (métronome avec plusieurs tempi : IIS de 450, 600 et 750 ms soit 133, 100 et 80 BPM). La précision et la variabilité sont relevées.

- l'adaptation à une variation de tempo « tapping adaptatif ». Un tempo régulier est donné puis peut varier par palier ou non. Le sujet doit se synchroniser au nouveau rythme puis maintenir ce rythme après l'arrêt des stimuli auditifs pendant quelques secondes. La précision et la variabilité sont relevés.

Cette batterie a le mérite d'être exhaustive et le traitement informatisé des résultats permet d'analyser de manière fiable et objective la précision et la variabilité. Cependant, la durée de passation, d'environ 1 heure, ne permet pas d'imaginer son utilisation lors d'évaluations cliniques. Au regard de la classification de Coull et Nobre (2008), il manque l'évaluation du timing implicite perceptif. Cette batterie est initialement conçue pour l'évaluation des capacités de timing chez la personne âgée et adulte. Elle a déjà été validée chez des patients Parkinsoniens. Néanmoins, des études sur les enfants et adultes avec TDA/H ont également été menées avec la BAASTA, et confirment les conclusions de travaux antérieurs, tout en mettant à jour de nouveaux déficits de timing dans cette population, qui n'avaient jamais décrits auparavant, comme le déficit d'extraction du rythme ou « *beat-tracking deficit* » (Puyjarinet et al., soumis). L'équipe travaille actuellement pour refonder une nouvelle batterie plus courte en temps qui n'évaluera que les processus temporels les plus discriminants (Dalla-Bella et al, 2016).

2. Prise en charge des processus temporels

Les prises en charge en lien avec les processus temporels sont plurielles et touchent l'ensemble des pathologies vu précédemment même si les données concernant la maladie de Parkinson sont celles qui abondent le plus. Pour une meilleure lisibilité de cette sous-partie, nous présenterons les résultats suivant trois grands axes : la rééducation par synchronisation sensori-motrice, la rééducation via la gestion globale du temps et une dernière partie, rapportera les autres études.

a) Synchronisation sensori-motrice

Les méthodes utilisant la synchronisation sensori-motrice sont de loin les plus utilisées et les plus étudiées dans la littérature. Elles se basent sur des fondements théoriques vu précédemment :

- utilisation d'un tempo extérieur comme contrainte pour l'apparition de nouveau pattern moteur selon la théorie dynamique de la motricité (Kelso et al, 1981 ; Tallet, 2007),
- utilisation du rythme optimal d'une coordination motrice pour apprendre et obtenir un programme moteur fluide et stable (Sakai et al, 2004 ; Sommer, 2014),
- circuit striato-thalamo-cortical et cérébello-thalamo-cortical comme support commun des processus temporels et de la motricité (McGrew, 2013, Nombela et al, 2013),
- présence de fortes connexions entre la perception auditive de rythmes et le système moteur (pour revue voir Thaut et Abiru, 2010 et Nombela et al, 2013).

Concernant les études pour des sujets atteints de la maladie de Parkinson, il a été démontré que l'utilisation de rythmes extérieurs améliore la vitesse, la cadence et la largeur des pas. Selon ces études, l'utilisation de la modalité auditive permet de régulariser les paramètres temporels de la marche : vitesse, cadence et la longueur de pas (Thaut et Abiru, 2010 ; Nombela, 2013). La Figure II-14 rapporte une schématisation de l'amélioration dans la démarche de patients Parkinsoniens avant et après un entraînement de synchronisation de leur marche avec un tempo extérieur. Sur le schéma du haut, la marche avant intervention présente des longueurs de pas courts, une cadence élevée et une asymétrie des pas. Comme le présente la figure du bas, la marche après intervention est plus classique et plus stable dans le temps et dans l'espace : longueur de pas allongée, cadence moins rapide et symétrie des pas.

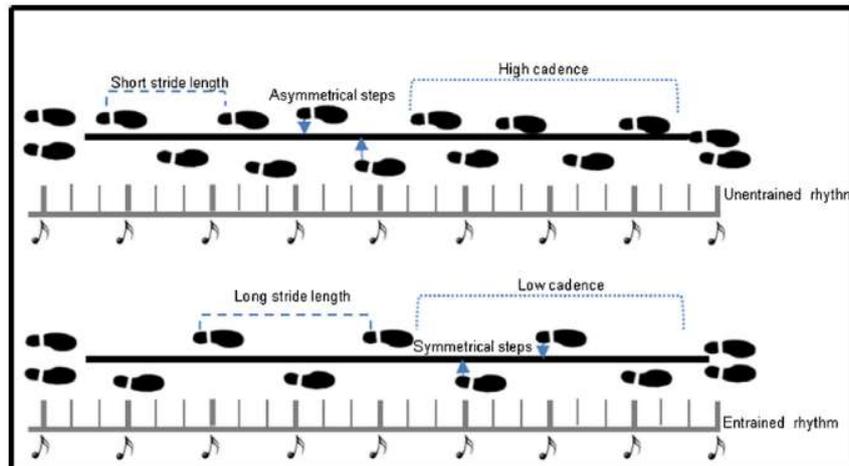


Figure II-14. Schématisation de la variation des paramètres de la marche chez des patients Parkinsoniens avant (haut) et après (bas) entraînement rythmique.

Ce résultat est aujourd'hui bien établi et il existe des protocoles standardisés de réhabilitation. Le plus connu est le « *Rhythmic Auditory Stimulation* » (RAS - Thaut et al, 1996 cité par Nombela, 2013), il a fait ses preuves pour faciliter la réhabilitation de mouvements rythmiques tels que la marche chez des patients Parkinsoniens, des patients post-AVC (Thaut et al, 1997 cité par Nombela et al, 2013). Ce programme se déroule sur trois semaines et utilise la musique comme source de rythme extérieur. Il est demandé au sujet de marcher en rythme avec le tempo de la musique et le tempo pris initialement proche du tempo moteur spontané va progressivement augmenter. L'amélioration des performances est visible et perdure lors de l'utilisation d'un rythme extérieur et quelques auteurs tel que Satoh et Kuzuhara (2008 cité par Nombela et al, 2013) ont également montré la possibilité de substituer ce rythme externe par un rythme interne autogénéré.

Le métronome interactif (« *Interactive Metronome* ») est une autre méthode de réhabilitation combinant un métronome avec un programme informatisé qui se base sur de la synchronisation sensori-motrice. Les participants doivent se synchroniser aux stimuli auditif et/ou visuel soit en frappant des mains, soit en tapant d'une main sur un support ou soit en tapant avec un pied. Des capteurs mécaniques permettent un relevé en temps réel de la réponse du participant qui alors reçoit un feedback visuel ou auditif lui permettant de savoir si sa réponse est anticipée, synchronisée ou tardive et ainsi d'améliorer sa précision. Le protocole prévoit qu'avec 3 ou 4 semaines de prise en charge soit entre 15 et 18 sessions d'une heure il existe une amélioration significative de la synchronisation sensori-motrice du patient. Cette amélioration serait corrélée à une amélioration du comportement et de l'attention de patient atteint de TDA/H (Shaffer et al, 2001), une amélioration du langage oral pour des enfants avec des troubles du langage oral (McGrew, 2013), une amélioration de l'écriture pour une enfant avec un TDC (Rosenblum et

Regev, 2013). Concernant ce dernier point, l'amélioration obtenue sur le langage oral et écrit peut-être mise en lien avec une amélioration de la boucle phonologique comme le précise Pereira (2013) qui préconise un travail rythmique en psychomotricité, en supplément d'un travail en orthophonie, pour améliorer la lecture et le langage. Les auteurs utilisant le métronome interactif (voir McGrew, 2013 pour une revue) expliquent les améliorations au travers de trois hypothèses :

- une amélioration de l'efficacité neuronale et du rythme des oscillations de l'horloge interne permettant une meilleure précision des processus temporels,
- une stimulation des circuits neuronaux de la région pariéto-frontale permettant une meilleure synchronisation des différentes zones cérébrales,
- une amélioration du système de contrôle de l'attention et une amélioration du fonctionnement de la mémoire de travail.

A notre avis, ce dernier point peut être mis en lien avec la présence de nombreux feedbacks, sollicitant ainsi en permanence l'attention soutenue. Concernant ces trois hypothèses, elles nécessitent encore une validation expérimentale, de même que les améliorations obtenues sur les différentes pathologies nécessitent d'être confortées par d'autres études.

Comme j'ai pu l'observer au cours de mes stages et de mes rencontres avec des psychomotriciens, nombreux sont ceux qui utilisent du rythme ou un tempo extérieur lors de leur prise en charge. Cependant, peu de ces travaux sont publiés et qui plus est dans la presse scientifique internationale. Nous pouvons, pour exemple, citer l'utilisation de la théorie dynamique et de l'utilisation d'un tempo externe comme contrainte pour l'apparition du pattern anti-horaire nécessaire pour l'écriture (Gentric-Guerin, 2014). Nous pouvons aussi citer pour exemple la psychorythmie, née du travail de Marthe Vyl (1901-1973) sur Paris et de son assistante Marie-Thérèse Fauvel qui a fait connaître cette méthode à Lyon. L'expérience du rythme est issue pour M. Vyl de son expérience à l'École de Rythmique d'E. Jacques-Dalcroze. L'objectif de cette méthode est de mettre en mouvement le patient avec le soutien d'une musique rythmée improvisée au piano. La musique est avancée comme une médiation où l'improvisation permet de s'adapter pleinement à la personne (Duriau, 2002) : adaptation du tempo en fonction du tempo moteur spontanée de la personne et adaptation du rythme en fonction de la coordination motrice visée. Aujourd'hui, les psychomotriciens utilisent conjointement les techniques de psychomotricité qui ont fait leurs preuves et des techniques de synchronisation sensori-motrice. Cela se traduit par l'utilisation de musiques rythmées et improvisées dans certains exercices proposés durant la séance en fonction des objectifs thérapeutiques (déplacement, saut, parcours, lancer de balles, relaxation...).

b) Gestion globale du temps

Il peut parfois être utile de mettre en place des outils permettant une meilleure visualisation temporelle sur les différentes échelles de temps : heure, journée, la semaine, mois et année. Marquet-Doléac et al (2009) proposent l'utilisation d'une horloge avec des segments de différentes couleurs pour des enfants avec un TDA/H afin de matérialiser le temps des activités passées et à venir. Cet outil permet aux enfants de développer leur sens du temps et leur capacité d'anticipation. De la même manière, un planning sur la séance de psychomotricité, sur la journée ou la semaine peut être une manière d'amener les enfants avec TDA/H d'appréhender plus précisément le temps.

Ces outils sont également utiles pour des sujets atteints de TSA. Peeter, 1997 (cité par Boucher, 2001) explique la nécessité de concrétiser le temps en utilisant des horloges, des *timers* ainsi que des calendriers pour aider les personnes à se repérer dans le temps suivant les différentes échelles (minute, heure, jour, mois, année). Ces résultats sont reconnus et préconisés au travers des recommandations de prise en charge d'enfant et d'adolescent ayant un TSA (HAS, 2012).

c) Autres méthodes

Un protocole a été mis en place sur le travail de tâche de timing implicite (tâche d'interception) pour des personnes Parkinsoniennes afin d'évaluer un potentiel transfert d'apprentissage vers d'autre type de timing. En effet, Innocent-Mutel (2016) a réalisé auprès de deux personnes atteintes de la maladie de Parkinson une prise en charge consistant entre autres à un entraînement à des tâches spatio-temporelles d'interception. Le participant devait face à un écran intercepter une cible en déplacement sur l'écran d'ordinateur avec une raquette située sur les bords extérieurs de l'écran qu'il pouvait faire bouger verticalement à l'aide de la souris de l'ordinateur. Lors des phases d'entraînement, la balle possède une vitesse de plus en plus élevée. Le résultat de cette expérience montre la possibilité d'un transfert d'apprentissage de cette tâche de timing implicite vers d'autre tâches de timing implicite ainsi qu'un transfert plus éloigné vers des tâches de timing explicite. Ce protocole nécessite d'être validé sur une population plus importante de patients et une observation serait intéressante quant aux améliorations visibles sur les tâches de la vie quotidienne (déplacements, praxies...) et sur le maintien.

Les méthodes de relaxation utilisées lors des prises en charge psychomotrices viennent modifier l'état émotionnel et principalement l'état d'anxiété des patients et de fait peuvent-être envisagées pour modifier plus ou moins temporairement le rythme de l'horloge interne. Droit-Volet et al (2015) viennent confirmer les résultats préliminaires de Kramer et al (2013 cité par Droit-Volet et al, 2015) selon lesquels la pratique régulière de méditation pleine conscience permettait une meilleure sensibilité et précision du temps. La méditation de pleine conscience (MPC) ou « *mindfulness* » est issue historiquement de techniques ancestrales : d'hatha yoga et de méditation bouddhiste. Un des principaux objectifs de la MPC est d'apprendre à focaliser son attention sur le moment présent et ses perceptions. Les auteurs mettent en lien l'amélioration de la perception du temps avec la mise en place de nouvelles stratégies attentionnelles et un meilleur état de concentration.

V. Conclusion de la partie II

Les études concernant les liens entre processus temporels et les différentes composantes psychomotrices sont nombreuses et variées. Elles nous amènent à réfléchir et discuter des liens de causalité entre les déficits moteurs, cognitifs ou sociaux observables et les déficits temporels présents.

Tout d'abord, les modèles théoriques cognitifs ou dynamiques des habiletés motrices s'accordent à dire que les processus temporels ont une place importante dans l'acquisition et la réalisation des actions motrices. Ces processus temporels seraient tous impliqués pour les théories cognitives et principalement les timings moteur explicite et implicite pour les théories dynamiques. Les études sur le TDC et les patients Parkinsoniens montrent la présence de déficits temporels touchant principalement le timing moteur explicite et implicite (ainsi que le timing explicite perceptif). Ces déficits temporels pourraient, entre-autre, être mis en lien avec les difficultés motrices rencontrés (variabilités spatio-temporelles des habiletés motrices).

Ensuite, il existe de nombreux liens entre les fonctions cognitives, principalement la mémoire et l'attention, et les processus temporels. Pour l'attention, il est principalement mis en avant un impact de l'attention sur les processus temporels, laissant supposer qu'un déficit attentionnel (orientation et maintien de l'attention) peut impacter les différents timings et principalement le timing explicite. L'orientation de l'attention semble être un élément saillant de la perception du temps. Pour la mémoire, il semble ressortir de la littérature qu'il existerait un impact de la mémoire sur les processus temporels mais aussi à l'inverse un impact des processus temporels sur la

mémoire. Ainsi, un déficit mnésique (mémoire de travail ou mémoire à long terme) pourrait entraîner un déficit des processus temporels mais selon certains modèles un déficit temporel pourrait également entraîner des difficultés de la mémoire de travail et principalement de la boucle phonologique. Les nombreuses études concernant le TDA/H tendent à montrer un déficit temporel concernant l'ensemble des timings explicite et implicite. Ces processus temporels sont mis au centre de certains modèles neurocognitifs explicatifs de ce trouble. Même si l'impact d'un déficit attentionnel reste présent, les déficits temporels expliqueraient en partie les troubles des fonctions exécutives (organisation de l'action immédiate, planification à moyen terme, planification des activités motrices, perception et la conceptualisation du passé et du futur, capacité à différer).

Parallèlement, nous avons abordé la question du lien entre processus temporels et habiletés sociales dont les normes intègrent un volet temporel (durée, ordre et rythme des interactions). Lors de l'interaction de deux personnes, il a été mis en avant un ajustement du rythme de l'interaction entre les deux protagonistes, expliqué en partie par le phénomène d'empathie (part émotionnelle) et par l'intégration implicite de stéréotypes sociaux. Concernant l'impact de l'émotion sur les processus temporels, il est important de considérer la valence de l'émotion, l'intensité, le niveau de vigilance mais aussi le contexte associé. Dans ce cadre, seules les émotions à haut niveau de vigilance et à forte valence négative amènent une distorsion temporelle constante allant dans le sens d'une accélération subjective du temps. Dans le contexte d'un trouble de l'humeur telle que la dépression, caractérisée par une humeur triste, les personnes présentent un ralentissement subjectif du temps observable au travers des compétences motrices et cognitives. Finalement, le trouble du spectre autistique est un trouble neurodéveloppemental dont le premier signe est une désynchronisation des interactions sociales. Ainsi, Gepner (2006) place le déficit temporel comme origine des symptômes caractérisant le TSA. En effet, le trouble de l'intégration et du traitement temporo-spatial des flux sensoriels expliqueraient les désordres observables au niveau de la communication verbale et non verbale, de la perception des émotions d'autrui et de la planification et anticipation motrice.

Au vu de l'ensemble de ces données, il existe aujourd'hui quelques tests standardisés permettant au psychomotricien d'appréhender une partie des processus temporels. Cependant il apparaît aujourd'hui un besoin de travailler sur une cotation laissant une part moins importante à la subjectivité et le développement d'une batterie plus exhaustive des principaux timings perceptif et moteur. De même, il existe des études sur l'impact de la prise en charge des processus temporels tel que la synchronisation sensori-motrice ou la gestion globale du temps. Cependant, peu d'études concernent la prise en charge psychomotrice proprement dite.

Conclusion

Le temps est venu de conclure ce travail sur les processus temporels. Nous avons au travers de ce mémoire mis en avant la présence d'une thématique plurielle et complexe mais dont nous devons nous saisir en tant que psychomotricien puisque leurs impacts sur les compétences psychomotrices sont majeurs.

Dans la première partie du mémoire, nous avons décrit les processus temporels comme possédant une multitude de facettes dont la classification de Coull et Nobre (2008) permet en partie de clarifier. Ces différents timings perceptif-moteur et implicite-explicite semblent impliqués dans plusieurs régions cérébrales dont les principales sont : le cervelet, les ganglions de la base et le cortex frontal. Deux circuits neuronaux distincts, fortement interconnectés, apparaissent dans la littérature : un circuit striato-thalamo-cortical et un circuit impliquant le cervelet. Aujourd'hui, les modèles cognitifs et dynamiques ne permettent d'expliquer qu'une partie de ces différents timings et leurs liens avec les fonctions cognitives.

Le développement des compétences temporelles peut être mis en parallèle du développement des compétences spatiales. En effet, l'enfant commence par vivre le temps au travers de ses actions motrices et de ses interactions quotidiennes avec son environnement. Nous pouvons à ce niveau nous questionner sur l'impact du rythme accéléré de vie que nous imposons à nos enfants à la maison, à l'école ou lors de nos prises en charge. L'enfant possède des compétences précoces dans la perception temporelle mais la notion du concept du temps ne commence à se développer que vers l'âge de 5-6 ans. Il faut dissocier le développement des processus temporels de l'acquisition et la manipulation des termes temporels.

Dans la deuxième partie, les différentes théories mais aussi les pathologies décrites mettent l'accent sur l'importance des processus temporels dans les habiletés motrices, les fonctions cognitives et les habiletés sociales. Il est difficile de dissocier les processus temporels réellement impliqués dans chacune de ces compétences mais l'ensemble des processus présents dans la classification de Coull et Nobre (2008) paraît important :

- la régularité du tempo moteur spontané (timing moteur implicite) est un élément important dans l'acquisition et la réalisation des habiletés motrices continues qui présentent un tempo régulier (marche, tracé continu...),

- la synchronisation à différents tempo ou rythme (timing moteur explicite) paraît être un élément primordial pour l'acquisition d'habiletés motrices discrètes possédant un rythme propre mais aussi dans l'ajustement de la personne à son environnement social,

- la prédiction temporelle (timing perceptif implicite) semble indispensable pour l'ajustement des comportements en lien avec un environnement en mouvement (prédiction temporelle exogène – attraper une balle ou traverser la route au moment opportun) ou présentant des régularités temporelles (prédiction temporelle endogène) permettant une meilleure anticipation des événements de la vie quotidienne (élément en faveur de l'amélioration des interactions sociales et des activités de la vie quotidienne)

- la perception explicite du temps (timing perceptif explicite) apparaît comme un point déterminant pour certaines fonctions cognitives tel que la mémoire, la planification et l'organisation temporelle.

Au regard de ces résultats, il n'est pas surprenant de retrouver des difficultés des processus temporels chez des sujets atteints de TDC, de dépression, du TSA, du TDA/H ou de Parkinson.

Il est donc primordial pour le psychomotricien d'avoir des notions sur les différents processus temporels, de connaître en partie leurs impacts dans les différentes composantes psychomotrices et leurs développements. Dans la perspective d'une évaluation de ces processus, il est aujourd'hui nécessaire de développer un test exhaustif, standardisé mais avec un temps de passation raisonnable. Au vu des données scientifiques de ce mémoire, quelques éléments clés lors prise en charge des processus temporels :

- prendre en compte l'âge de développement, la pathologie et la part de l'émotion
- appréhender le tempo moteur spontané de l'individu afin de pouvoir s'ajuster lors de nos interactions et proposer des rythmes ou tempo externes en adéquation (accélération ou ralentissement maîtrisé par rapport au niveau naturel de son tempo moteur spontané).

- lors d'exercices de synchronisation sensori-motrice : utiliser la modalité auditive prioritairement, adapter le tempo ou rythme en fonction du tempo moteur spontané et de l'objectif de la prise en charge (acquisition nouvelle coordination, régularisation d'une action motrice comme le dribble, accélération d'un pattern moteur...). Par ailleurs, la synchronisation est plus difficile pour un jeune enfant surtout si le tempo proposé est trop proche de son tempo moteur spontané (pour un enfant de 3 ans il faut une différence entre le tempo moteur spontané et le tempo proposé de 20% contre 3% pour un enfant supérieur à 8 ans).

- bien différencier l'acquisition des termes temporels de l'intégration du concept temps et des compétences des différents processus temporels.

Finalement, concernant le contenu et la méthodologie de la prise en charge des processus temporels, quelques éléments existent dans la littérature concernant la synchronisation sensori-motrice pour les sujets atteints de la maladie de Parkinson mais aussi pour certains troubles neuro-développementaux et la prise en charge de la gestion globale du temps pour les sujets avec un TDAH ou un TSA. Cependant, la littérature sur les prises en charge des processus temporels nécessiterait d'être étoffée par la rédaction des nombreuses prises en charge actuelle de psychomotriciens qui considèrent ses composantes temporelles. Je pense entre autres aux psychomotriciens formés à la méthode Marthe Vyl qui utilisent de la musique improvisée au piano pendant leurs séances. Le tempo et le rythme viennent alors ponctuellement soutenir :

- les coordinations motrices : tempo adapté au tempo moteur spontané, accéléré ou ralenti et rythme adapté à la coordination motrice attendue (rythme binaire pour la marche, la course, le saut et rythme ternaire pour des mouvements rotatifs).

- les fonctions cognitives : travail et maintien de l'attention avec le soutien de la musique ; mémoire des actions motrices ou de l'histoire à produire en lien avec le rythme joué ; l'imagerie mentale peut être stimulée et soutenue par le rythme de la coordination travaillé.

- les interactions sociales peuvent être facilitées lors d'un travail en groupe où la musique improvisée aident les participants à se synchroniser sur un même tempo.

Bibliographie

- Addyman, C., French, R. M., Mareschal, D., & Thomas, E. (2011). Learning to perceive time: A connectionist, memory-decay model of the development of interval timing in infants. In *CogSci*.
- Albaret, J. M. (2007). Clinique des troubles du mouvement intentionnels : de la débilité motrice au trouble de l'acquisition de la coordination (TAC). *Thérapie Psychomotrice et Recherches*, 150, 86-100.
- Allman, M. J., & Meck, W. H. (2012). Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain*, 135(3), 656-677.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological bulletin*, 121(1), 65.
- Blank, R. (2012). Information for parents and teachers on the European Academy for Childhood Disability (EACD) recommendations on Developmental Coordination Disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54(11), e8-e9.
- 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. <http://doi.org/10.1038/nrn1764>
- Bobin-Begue, A. (2002). *Capacité de traitement temporel des durées courtes chez l'enfant entre 1 & 4 ans* (Doctoral dissertation, Ecole pratique des hautes études-EPHE PARIS).
- Boucher, J. (2001). Time-Parsing and Autism. *Time and memory: Issues in philosophy and psychology*, (1), 111.
- Brown, G. D., Preece, T., & Hulme, C. (2000). Oscillator-based memory for serial order. *Psychological review*, 107(1), 127.
- Brown, G. D., Neath, I., & Chater, N. (2007). A temporal ratio model of memory. *Psychological review*, 114(3), 539.
- Carrer, L. R. J. (2015). Music and sound in time processing of children with ADHD. *Frontiers in psychiatry*, 6.

- Chaix, Y., & Albaret, J. M. (2013). Trouble de l'Acquisition de la Coordination et déficits visuo-spatiaux. *Développements*, (2), 32-43.
- Chambon, M., Gil, S., Niedenthal, P. M., & Droit-Volet, S. (2005). Psychologie sociale et perception du temps: l'estimation temporelle des stimuli sociaux et émotionnels. *Psychologie française*, 50(1), 167-180.
- Cope, T. E., Grube, M., Singh, B., Burn, D. J., & Griffiths, T. D. (2014). The basal ganglia in perceptual timing: Timing performance in Multiple System Atrophy and Huntington's disease. *Neuropsychologia*, 52, 73–81.
<http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.039>
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (2008). Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current opinion in neurobiology*, 18(2), 137-144.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 3-25.
- 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.
- De Coster, L., & De Vries, F. (2004). L'acquisition et la construction de la notion de temps chez les enfants de 5 à 9 ans: perspective développementale.
- 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.
- Delevoye-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.
- Droit-Volet, S. (2000). L'estimation du temps: perspective développementale. *L'année psychologique*, 100(3), 443–464. <http://doi.org/10.3406/psy.2000.28653>
- Droit-Volet, S. (2001). Les différentes facettes du temps. *enfances & psy*, (1), 26-40.

- Droit-Volet, S. (2003). Alerting attention and time perception in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 85(4), 372-384.
- Droit-Volet, S., & Gil, S. (2009). The time–emotion paradox. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1943-1953.
- Droit-Volet, S., Fayolle, S., Lamotte, M., & Gil, S. (2013). Time, emotion and the embodiment of timing. *Timing & Time Perception*, 1(1), 99-126.
- Droit-Volet, S., Fanget, M., & Dambrun, M. (2015). Mindfulness meditation and relaxation training increases time sensitivity. *Consciousness and cognition*, 31, 86-97.
- Droit-Volet, S., Fayolle, S., & Gil, S. (2016). Emotion and time perception in children and adults: the effect of task difficulty. *Timing & Time Perception*. DOI: 10.1163/22134468-03002055
- Duriau B. (2002). La méthode Marthe Vyl. *Evolutions psychomotrices*, 14(58), 206–213.
- Falter, C. M., & Noreika, V. (2014). Time processing in developmental disorders: a comparative view. *Subjective time: the philosophy, psychology, and neuroscience of temporality*. MIT Press, Cambridge.
- Farrell, S. (2008). Multiple roles for time in short-term memory: Evidence from serial recall of order and timing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(1), 128.
- Fauvel M-T (1995). *Le bilan Marthe Vyl, Un examen en psychomotricité à partir de 7 ans*. Collection Psychothérapies Corporelles, Paris, Masson.
- Fauvel M-T (2007) Le bilan Marie-Thérèse Fauvel", *Un examen en psychomotricité pour les enfants de 5 et 6 ans*, Collectif de psychomotriciens et psychorythmiciens
- Fraisse, P. (1967). *Psychologie du temps*.
- Gallagher, S. (2012). Time, emotion, and depression. *Emotion Review*, 4(2), 127-132.
- Gentric-Guerin, M. (2014). *Réflexion sur les pré-requis à l'apprentissage de l'écriture : comment aider le jeune enfant à relever les défis de l'acquisition du geste graphique ?* (Mémoire du diplôme d'Etat de Psychomotricien, Université de Toulouse).

- Gepner, B., Massion, J., Tardif, C., Gorgy, O., Livet, M. O., Denis, D., ... & Castet, E. (2002). L'autisme: une pathologie du codage temporel?. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)*, 21, 177-218.
- Gepner, B. (2006). Constellation autistique, mouvement, temps et pensée. *Devenir*, 18(4), 333-379.
- Geuze, R. H. (2005). *Le trouble de l'acquisition de la coordination: évaluation et rééducation de la maladresse chez l'enfant*. Groupe de Boeck.
- Geuze, R., & Kalverboer, A. F. (1987). Inconsistency and adaptation in timing of clumsy children. *Journal of Human Movement Studies*, 13(8), 421-432.
- Geuze, R. H., & Kalverboer, A. F. (1994). Tapping a rhythm: A problem of timing for children who are clumsy and dyslexic?. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11(2), 203-213.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of sciences*, 423(1), 52-77.
- Gil, S. (2008). *Perception du temps et émotions: étude de l'influence des expressions faciales émotionnelles chez l'enfant et l'adulte* (Doctoral dissertation, Clermont-Ferrand 2).
- Gil, S., & Droit-Volet, S. (2009). Le sens du temps sous l'emprise des émotions. *Revue cerveau et psycho*, Mars-Avril.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 561-582.
- Grondin, S., Pouthas, V., Samson, S., & Roy, M. (2006). Mécanismes et désordres liés à l'adaptation au temps. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 47(3), 170.
- Guenantin, G. (2010). *Epreuve d'ordre de succession temporelle: de la pratique clinique d'une épreuve expérimentale... à l'élaboration d'un cadre théorique de référence et à la faisabilité du protocole* (Doctoral dissertation).

- Hayashi, M. J., Kantele, M., Walsh, V., Carlson, S., & Kanai, R. (2014). Dissociable Neuroanatomical Correlates of Subsecond and Suprasecond Time Perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(8), 1685–1693. http://doi.org/10.1162/jocn_a_00580
- Innocent-Mutel, D. (2016). *Comment améliorer les processus temporels dans la maladie de Parkinson ? Effets de l'apprentissage perceptivo-moteur* (Mémoire de M2R, Université de Toulouse, Neuropsychologie et Neurosciences Cliniques).
- Ivry, R. B., Spencer, R. M., Zelaznik, H. N., & Diedrichsen, J. (2002). The cerebellum and event timing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 978(1), 302-317.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological review*, 96(3), 459.
- Keele, S. W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological bulletin*, 70(6p1), 387.
- Kelso, J. A., Holt, K. G., Rubin, P., & Kugler, P. N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of non-linear, limit cycle oscillatory processes: theory and data. *Journal of Motor Behavior*, 13(4), 226-261.
- Koch, G., Oliveri, M., & Caltagirone, C. (2009). Neural networks engaged in milliseconds and seconds time processing: evidence from transcranial magnetic stimulation and patients with cortical or subcortical dysfunction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1907-1918.
- Kwakye, L. D., Foss-Feig, J. H., Cascio, C. J., Stone, W. L., & Wallace, M. T. (2011). Altered auditory and multisensory temporal processing in autism spectrum disorders. *Frontiers in integrative neuroscience*, 4, 129.
- Lamour, H. (1981). *Pédagogie du rythme*, Editions Revue EPS.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003a). Brain activation patterns during measurement of sub-and supra-second intervals. *Neuropsychologia*, 41(12), 1583-1592.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003b). Overview: An image of human neural timing. *Functional and neural mechanisms of interval timing*, 515-532.

- Maniadakis, M., Wittmann, M., Droit-Volet, S., & Choe, Y. (Eds.). (2015). *Towards embodied artificial cognition: TIME is on my side*. Frontiers Media SA.
- 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.
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2000). Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior. *Bioessays*, 22(1), 94-103.
- McGrew, K. M. (2013). Pub# 2: The Science Behind Interactive Metronome: An Integration of Brain Clock, Temporal Processing, Brain Network and Neurocognitive Research and Theory.
- Méary, D. (2003). *Perception visuelle des mouvements humains: Analyse comportementale, neuroimagerie et neuropathologie* (Doctoral dissertation, Université Pierre Mendès-France-Grenoble II).
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. *Motor development in children: Aspects of coordination and control*, 34, 341-360.
- Nombela, C., Hughes, L. E., Owen, A. M., & Grahn, J. A. (2013). Into the groove: can rhythm influence Parkinson's disease?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2564-2570.
- 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.
- Ornstein, R.E. (1969). *On the Experience of time*. New York: Penguin Books
- Paoletti, R. (1999). Education et motricité: l'enfant de deux à huit ans. De Boeck Supérieur.
- Pastor, M. A., Artieda, J., Jahanshahi, M., & Obeso, J. A. (1992). Time estimation and reproduction is abnormal in Parkinson's disease. *Brain*, 115(1), 211-225.

- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., & Evans, A. C. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: a PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of cognitive neuroscience*, 10(6), 752-765.
- Pereira, D. (2013). *Langage et psychomotricité : quelle est la relation structurelle et la lecture ?* (Mémoire de M2R Linguistique Générale et Appliquée Fonctionnements Linguistiques et Dysfonctionnements langagiers, Université de Paris Ouest).
- Piras, F., & Coull, J. T. (2011). Implicit, predictive timing draws upon the same scalar representation of time as explicit timing. *PloS one*, 6(3), e18203.
- Piras, F., Ciullo, V., Danese, E., Caltagirone, C., & Spalletta, G. (2014). Time dysperception perspective for acquired brain injury. *Frontiers in neurology*, 4, 217.
- Pireyre, E. (2000). Epreuve de tempo spontané et de reproduction de structures rythmiques de Mira Stambak: nouvel étalonnage. *Evolutions psychomotrices*, (47), 32-43.
- Pouthas, V. (1995). Développement de la perception du temps et des régulations temporelles de l'action chez le nourrisson et l'enfant. *Naissance et Développement du Sens Musical*, PUF, 133-163.
- Puyjarinet, F., Bégel, V., Lopez, R., Dellacherie, D., & Dalla Bella, S. (soumis). Children and adults with ADHD cannot track the beat of music.
- Rao, S. M., Harrington, D. L., Haaland, K. Y., Bobholz, J. A., Cox, R. W., & Binder, J. R. (1997). Distributed neural systems underlying the timing of movements. *The Journal of Neuroscience*, 17(14), 5528-5535.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2002). Le transfert d'un apprentissage de durée d'action chez le jeune enfant: l'effet facilitateur de la variété des actions?. *Enfance*, 54(2), 141-153.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2007). Implicit long-term memory for duration in young children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19(2), 271-285.
- Repp, B. H., & Su, Y. H. (2013). Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006–2012). *Psychonomic bulletin & review*, 20(3), 403-452.

- Roche, R., Viswanathan, P., Clark, J. E., & Whittall, J. (2016). Children with developmental coordination disorder (DCD) can adapt to perceptible and subliminal rhythm changes but are more variable. *Human Movement Science*, 50, 19-29.
- Rommelse, N. N., Altink, M. E., Oosterlaan, J., Beem, L., Buschgens, C. J., 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.
- Rosenblum, S., & Regev, N. (2013). Timing abilities among children with developmental coordination disorders (DCD) in comparison to children with typical development. *Research in developmental disabilities*, 34(1), 218-227.
- Rubia, K., Noorloos, J., Smith, A., Gunning, B., & Sergeant, J. (2003). Motor timing deficits in community and clinical boys with hyperactive behavior: the effect of methylphenidate on motor timing. *Journal of abnormal child psychology*, 31(3), 301-313.
- Rubia, K. (2006). The neural correlates of timing functions. Timing the future: the case for a time-based prospective memory. *World Scientific Publishing*, Hackensack, NJ, 213-238.
- Sakai, K., Hikosaka, O., & Nakamura, K. (2004). Emergence of rhythm during motor learning. *Trends in cognitive sciences*, 8(12), 547-553.
- Sallagoity, I. (2004). *Dynamique de coordination spontanée de l'écriture* (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- Schmidt, R. A. (1993). *Apprentissage moteur et performance*. Paris: Vigot.
- Sommer, M. (2014). *Effect of timing training in golf and soccer players: skill, movement organization, and brain activity* (Doctoral dissertation, Umeå Universitet).
- 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.
- Spencer, R. M., Zelaznik, H. N., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2003). Disrupted timing of discontinuous but not continuous movements by cerebellar lesions. *science*, 300(5624), 1437-1439.

- Stambak, M. (1951). Le problème du rythme dans le développement de l'enfant et dans les dyslexies d'évolution. *Enfance*, 4(5), 480-502.
- Stambak, M. (1960). Trois épreuves de rythme, in manuel pour l'examen psychologique de l'enfant. *Delachaux et Niestlé Neuchâtel*, 3.
- Schwartz, M., Keller, P. E., Patel, A. D., & Kotz, S. A. (2011). The impact of basal ganglia lesions on sensorimotor synchronization, spontaneous motor tempo, and the detection of tempo changes. *Behavioural brain research*, 216(2), 685-691.
- 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.
- Szelag, E., Kowalska, J., Galkowski, T., & Pöppel, E. (2004). Temporal processing deficits in high-functioning children with autism. *British Journal of psychology*, 95(3), 269-282.
- Taatgen, N. A., Van Rijn, H., & Anderson, J. (2007). An integrated theory of prospective time interval estimation: the role of cognition, attention, and learning. *Psychological Review*, 114(3), 577.
- Teki, S., Grube, M., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2011). Distinct neural substrates of duration-based and beat-based auditory timing. *Journal of Neuroscience*, 31(10), 3805-3812.
- Teki, S., Grube, M., & Griffiths, T. D. (2012). A unified model of time perception accounts for duration-based and beat-based timing mechanisms. *Frontiers in integrative neuroscience*, 5, 90.
- Thaut, M. H., & Abiru, M. (2010). Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 27(4), 263-269.
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.09.018>

- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied*, 77(13), 1.
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 10(5), 683.
- Whitall, J., Getchell, N., McMenemy, S., Horn, C., Wilms-Floet, A., & Clark, J. E. (2006). Perception–action coupling in children with and without DCD: frequency locking between task-relevant auditory signals and motor responses in a dual-motor task. *Child: care, health and development*, 32(6), 679-692.
- Whitall, J., Chang, T. Y., Horn, C. L., Jung-Potter, J., McMenemy, S., Wilms-Floet, A., & Clark, J. E. (2008). Auditory-motor coupling of bilateral finger tapping in children with and without DCD compared to adults. *Human movement science*, 27(6), 914-931.
- Wiener, M., Turkeltaub, P., & Coslett, H. B. (2010a). The image of time: a voxel-wise meta-analysis. *Neuroimage*, 49(2), 1728-1740.
- Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010b). Implicit timing activates the left inferior parietal cortex. *Neuropsychologia*, 48(13), 3967-3971.
- Wilson, P. H., Ruddock, S., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Blank, R. (2013). Understanding performance deficits in developmental coordination disorder: a meta-analysis of recent research. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(3), 217-228.
- Wittmann, M. (2013). The inner sense of time: how the brain creates a representation of duration. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(3), 217-223.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6(1), 12-16.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 18(2), 403.
- Zelaznik, H. N., Spencer, R., & Ivry, R. B. (2002). Dissociation of explicit and implicit timing in repetitive tapping and drawing movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(3), 575.

Résumé en français

Les processus temporels sont indispensables pour tous les comportements humains et sont nécessaires pour comprendre et s'adapter à son environnement. Ils sont présents dans les interactions sociales, le langage, les activités motrices ainsi que dans les activités de la vie quotidienne. Les processus temporels font donc partis de ces notions primordiales sur lesquelles le psychomotricien peut s'appuyer pour analyser, évaluer et prendre en charge les troubles psychomoteurs qui affectent l'adaptation d'un individu dans sa dimension perceptivo-motrice. L'objectif de ce mémoire est de faire un tour d'horizon de la littérature scientifique en lien avec les processus temporels. Subséquemment, dans un premier temps, les contours théoriques sont définis (définitions des processus temporels, substrats neurologiques et modèles théoriques). Dans un deuxième temps, des liens sont mis en exergue entre les processus temporels et les fonctions psychomotrices. Cette deuxième partie est illustrée par différentes pathologies telles que le trouble du spectre autistique, le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, le trouble développemental de la coordination. Au final, une revue sur l'évaluation et les prises en charge de ces processus temporels sont proposées. Revue qui justifie la nécessité de s'intéresser à ces processus mais qui met également en avant le fait que la littérature sur l'évaluation et les prises en charge des processus temporels nécessiterait d'être étoffée.

Résumé en anglais

Timing processes are essential for all human behavior and are necessary to understand and adapt to its environment. They are present in social interactions, in language, in motor abilities and in the daylies activities. Timing processes are therefore part of these primordial notions on which the psychomotor therapy need to be based on to analyze, evaluate and care psychomotor disorders that affect the adaptation of a person in his perceptual-motor dimension. The aim of this report is to review the scientific literature in relation to the timing processes. Subsequently, the theoretical outline are first defined (definitions of timing processes, neurological substrates and theoretical models). In a second step, links are highlighted between timing processes and psychomotor functions. This second part is illustrated by various pathologies such as Autism Spectrum Disorder, Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Developmental Coordination Disorder. In the end, a review of the evaluation and caring of these timing processes is suggested. This review proves the need to take an interest in these processes but also highlights the fact that the literature on evaluation and caring of timing processes would need to be expanded.