



Le rôle de la mémoire à long terme dans la perception du temps

Thèse

Simon Tobin-Daignault

Doctorat en psychologie
Philosophiae doctor (Ph.D.)

Québec, Canada

© Simon Tobin-Daignault, 2015

Résumé

Le rôle de la mémoire à long terme (MLT) dans la perception temporelle est souvent éclipsé par d'autres processus cognitifs comme l'attention. Cette thèse visait donc à faire la lumière sur le rôle de la MLT en perception temporelle. Plus précisément, la thèse visait à étudier l'effet des connaissances propres à la durée sur une variété de jugements temporels. Pour ce faire, 4 expériences ont été réalisées, toutes avec des athlètes (coureurs et nageurs). Le recours aux athlètes permettait d'avoir accès à des participants ayant beaucoup de connaissances propres à la durée (en lien avec leur sport). Les quatre expériences démontrent un effet constant : les connaissances propres à la durée améliorent la perception temporelle. Ainsi, les expériences réalisées dans le cadre de cette thèse permettent d'affirmer qu'il est nécessaire de reconsidérer le rôle de la MLT dans la perception temporelle; les connaissances acquise au fil du temps, à force de répétitions, sont transférées en mémoire et utilisées subséquemment pour percevoir le temps.

Table des matières

RÉSUMÉ	III
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES	XIII
REMERCIEMENTS	XV
AVANT-PROPOS.....	XIX
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION ET NOTIONS GÉNÉRALES.....	1
1.1 INTRODUCTION	1
1.2. MÉMOIRE	2
1.2.1 MODÈLE MODAL : LA DURÉE DE RÉTENTION	3
1.2.2 MODÈLE DE TULVING : LA NATURE DE L'INFORMATION	4
1.2.3 MODÈLE DE TULVING : LIMITES ET ALTERNATIVES	5
1.3 MÉTHODOLOGIES EN PERCEPTION DU TEMPS.....	6
1.3.1 PARADIGMES PROSPECTIF ET RÉTROSPECTIF	6
1.3.2 MÉTHODES D'ESTIMATION TEMPORELLE	8
1.4 CONCLUSIONS	10
CHAPITRE 2 : MÉMOIRE À LONG TERME ET PERCEPTION DU TEMPS	11
2.1 CONNAISSANCES ACTUELLES SUR L'IMPLICATION DE LA MÉMOIRE À LONG TERME DANS LA PERCEPTION DU TEMPS	12
2.1.1 AMNÉSIE : IMPORTANCE D'UNE MLT INTACTE.....	12
2.1.2 TRACE MNÉSIQUE	14
2.1.2.1 DURÉE DE RÉTENTION.....	15
2.1.2.2 Interférence	16
2.1.2.3 Données neurologiques	18
2.1.3 EFFET DE LA MLT SUR LA PERFORMANCE TEMPORELLE	20
2.1.3.1 Tâches de prédiction temporelle	20
2.1.3.2 Tâches de comparaison temporelle.....	23
2.1.3.3 Tâches de quantification.....	24
2.1.4 MÉCANISME EXPLICATIF : BORNES INFÉRIEURES ET SUPÉRIEURES	27
2.1.5 RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	29
2.2 CATÉGORIES DE MÉMOIRE DES DURÉES	30

2.2.1 IMPORTANCE DE CONSIDÉRER LA TÂCHE EMPLOYÉE	30
2.2.2 PARALLELE ENTRE LA MEMOIRE DES DUREES ET LE MODELE DES SYSTEMES DE TULVING	31
2.2.3 DISSOCIATION IMPORTANTE	32
2.2.4 MLT DANS LE CADRE DE LA PRÉSENTE THÈSE	35
2.3 LA MÉMOIRE DES DURÉES DANS LES MODÈLES DE PERCEPTION DU TEMPS	37
2.3.1 MODÈLES D'ORNSTEIN : TAILLE DES REPRÉSENTATIONS EN MÉMOIRE.....	37
2.3.2 LE MODÈLE DES CHANGEMENTS CONTEXTUELS.....	38
2.3.3 LA THÉORIE SCALAIRE	39
2.3.4 AUTRES MODÈLES ET CONCLUSIONS.....	41
2.4 L'INTERACTION ENTRE MÉMOIRE DES DURÉES ET PERCEPTION TEMPORELLE	42
2.4.1 LE RÔLE DE L'ATTENTION DANS LA PERCEPTION DU TEMPS	42
2.4.2 LES DONNÉES PROVENANT DES RÉTROACTIONS.....	44
2.5 CONCLUSIONS	45

CHAPITRE 3 : ORIENTATION GÉNÉRALE ET HYPOTHÈSES..... 47

3.1 ORIENTATION GÉNÉRALE.....	47
3.2 PARTICULARITÉS DE LA MÉTHODE.....	47
3.2.1 ASPECT ÉCOLOGIQUE : LE RECOURS AUX ATHLÈTES.....	47
3.2.2 ASPECT MÉTHODOLOGIQUE : PARADIGME DE LA DOUBLE TÂCHE	48
3.3 OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	48
3.3.1 QUANTIFIER L'EFFET DES CONNAISSANCES PROPRES À LA DURÉE.....	48
3.3.3 L'INTERACTION ENTRE LA MLT ET L'ATTENTION	49
3.3.3 DÉTERMINER LE MÉCANISME D'ACTION DES CONNAISSANCES PROPRES À LA DURÉE.....	50
3.4 EXPÉRIENCES RÉALISÉES	51

CHAPITRE 4 – TIME PERCEPTION IS ENHANCED BY TASK DURATION KNOWLEDGE: EVIDENCE FROM EXPERIENCED SWIMMERS..... 52

4.1 ABSTRACT	52
4.2 INTRODUCTION.....	53
4.2.1 THE EFFECT OF TASK DURATION KNOWLEDGE ON TIME PERCEPTION	55
4.3 THE PRESENT STUDY	57
4.4 EXPERIMENT 1	58
4.4.1 METHOD	59
4.4.2 RESULTS AND DISCUSSION	61
4.5 EXPERIMENT 2.....	63
4.5.1 METHOD	64
4.5.2 RESULTS AND DISCUSSION	65
4.6 EXPERIMENT 3.....	67
4.6.1 METHOD.....	68

4.6.2 RESULTS AND DISCUSSION	69
4.7 GENERAL DISCUSSION	71
4.7.1 THE INFLUENCE OF TASK DURATION KNOWLEDGE ON TIME PERCEPTION	71
4.7.2 ATTENTION AND MEMORY.....	72
4.8 CONCLUDING COMMENTS.....	75
4.9 AUTHORS' NOTE.....	77
4.10 REFERENCES	78
4.11 TABLE 1.....	81
4.12 TABLE 2	82
4.13 FIGURE CAPTIONS	83

CHAPITRE 5 – PRIOR TASK EXPERIENCE AFFECTS TEMPORAL PREDICTION AND ESTIMATION.....85

5.1 ABSTRACT.....	85
5.2 INTRODUCTION	86
5.2.1 PRIOR EXPERIENCE WITH A TASK.....	87
5.2.2 TEMPORAL ESTIMATION.....	90
5.2.3 THE PRESENT STUDY.....	91
5.3 METHOD	92
5.4 RESULTS	95
5.5 DISCUSSION	96
5.5.1 EFFECT OF EXPERIENCE	96
5.5.2 PREDICTION VS. ESTIMATION.....	98
5.5.3 LIMITATIONS AND FUTURE STUDIES.....	99
5.6 CONCLUSIONS.....	100
5.7 ACKNOWLEDGMENTS.....	101
5.8 REFERENCES	102
5.9 TABLE.....	104

CHAPITRE 6. DISCUSSION GÉNÉRALE105

6.1 PREMIER OBJECTIF : QUANTIFIER L'EFFET DES CONNAISSANCES PROPRES À LA DURÉE ..	105
6.1.1 UN EFFET ROBUSTE	105
6.1.2 EFFET PROPORTIONNEL.....	107
6.1.3 EXPERTISE TEMPORELLE.....	108
6.1.4. UN EFFET INDÉPENDANT DU MOUVEMENT	109
6.2. DEUXIÈME OBJECTIF : COMMENT LA MÉMOIRE INTERAGIT AVEC LES AUTRES MÉCANISMES DE LA PERCEPTION TEMPORELLE.....	110

6.3. TROISIÈME OBJECTIF : EXPLORER LE MÉCANISME D’ACTION	111
6.4 PONDÉRATEUR MNÉSIQUE	112
6.4.1 HORLOGE INTERNE.....	113
6.4.2 LE PONDÉRATEUR MNÉSIQUE.....	113
6.5 APPLICATIONS DE LA THÈSE	116
6.6 LIMITATIONS ET PISTES DE RECHERCHES FUTURES	117
6.7 RÉSUMÉ ET CONCLUSION	118
<u>RÉFÉRENCES</u>	120

Liste des tableaux

Tableau 1.	51
-----------------	----

Liste des figures

Figure 1.	9
Figure 2.	12
Figure 3.	17
Figure 4.	18
Figure 5.	23
Figure 6.	25
Figure 7.	35
Figure 8.	40
Figure 9.	43
Figure 10.	115

Remerciements

Bien évidemment, cette thèse, de par son ampleur, n'aura pas été le fruit de ma seule personne. L'apport, plus ou moins grand, d'une foule de personnes se doit d'être mentionné ici, je nommerai les principaux :

À tout seigneur tout honneur...

Je ne pourrais commencer par une autre personne que mon directeur, Simon Grondin. Sa contribution à ma formation déborde du cadre de ma thèse, et continuera avec moi pour la suite de ma carrière. J'ai eu la chance de compter sur un directeur qui me laissait assez de *lousse* pour accommoder mon mode de vie d'étudiant-athlète-père-entrepreneur, mais qui était toujours là pour m'épauler, me recentrer ou simplement m'aider à peaufiner mes idées. J'ai toujours senti que le premier souci de mon directeur n'était pas de publier une thèse, mais de former un étudiant qui un jour, ne sera plus étudiant et volera de ses propres ailes.

Le nerf de la guerre...

La réalisation de cette thèse n'aurait tout simplement pas été possible sans le généreux support financier que m'a consenti le CRSNG tout au long de mes études supérieures. Ce genre de support a fait toute la différence.

L'inspiration...

Étrange remerciement, j'en conviens, mais je voudrais remercier le sport (y lire la natation), pour m'avoir donné l'idée de cette thèse, mais aussi pour m'avoir appris, tout au long de mon

parcours, les nombreuses habiletés nécessaires pour compléter une thèse. C'est aussi grâce au sport que j'ai pu rencontrer le prochain remerciement.

La patience...

Ma thèse aura pris du temps, trop à mon goût. Je remercie donc mon épouse Alexandra pour sa patience à endurer mes nombreux exiles dans les cafés, plaintes ou autres doléances. Après tout ce temps, j'ai enfin fini Alex!

Le détour... et la raison de finir

Entre le moment où j'ai commencé mon doctorat et le moment où j'écris ces lignes, j'ai eu trois merveilleux enfants. J'aurais peut-être fini plus rapidement ma thèse sans prendre ce détour vers la paternité, mais mes enfants sont aussi la raison de pourquoi je tenais à compléter cette thèse. À vous trois (et au 4^e qui est en route), je vous adore!

Les collègues

J'ai été l'étudiant fantôme du labo, trop occupé sur le bord d'une piscine, dans un autre pays, ou encore à changer des couches. J'ai toutefois eu quelques collègues qui ont contribué à mon parcours et que j'aimerais remercier : Jean, avec qui j'ai débuté dans le monde de la recherche. Nicolas, avec qui j'ai eu le plaisir de partager quelques projets, et puis Félix et Vincent, pour leur aide dans la collecte des données.

La touche asiatique.

J'ai aussi eu la chance de faire un merveilleux stage à Singapour, pour y perfectionner mes connaissances en neurosciences, mais aussi découvrir tout un nouveau coin de la planète. Je

souhaite remercier deux personnes en particulier du labo de la NUS : Eric, qui semblait savoir tout faire avec l'EEG, et Trevor, pour son sens de l'analyse des plus pointus.

Avant-propos

Thèse avec insertion d'articles

Cette thèse contient deux articles. Le premier, *Time Perception is Enhanced By Task Duration Knowledge : Evidence form Experienced Swimmers* a été publié en 2012 dans la revue *Memory and Cognition*, volume 40, numéro 8, pages 1339-1351. Quant au deuxième, *Prior Task Experience Affects Temporal Prediction and Estimation*, il vient tout juste d'être accepté dans un numéro spécial à paraître dans la revue *Frontiers in Psychology*. Simon Tobin est l'auteur principal de ces articles. Le coauteur de ceux-ci, M. Simon Grondin, est le directeur de recherche de Simon Tobin

Chapitre 1 : Introduction et notions générales

« *Qu'est-ce que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais.*

Si je veux l'expliquer à qui me le demande, je ne le sais plus ».

– Saint-Augustin, *Les confessions*.

1.1 Introduction

Qu'est-ce que le temps? Une des meilleures réponses pour démontrer la complexité de la question est cette citation de Saint-Augustin. Effectivement, nombreux sont ceux qui ont une idée de ce qu'est le temps, mais qui peinent à le définir. Devant cette impasse, l'individu se tournant vers la physique pour chercher une définition du temps trouvera une réponse qui n'est ni simple, ni unique (Hawking, 1988), vu la quantité et la complexité des théories sur le temps. Par exemple, certains se tourneront vers la notion de 4^e dimension, d'autres vers la très complexe théorie des cordes (voir Hawking, 1988). Toutefois, bien qu'il semble y avoir un flou quant à la nature même du temps, il n'en demeure pas moins que l'être humain, et même certains animaux (Roberts, 2008), ont une conscience du temps. Non seulement le temps est-il perceptible, il est aussi quantifiable et s'avère un des fondements de l'organisation sociale (Zakay & Block, 1997).

Les mécanismes de la perception temporelle sont impliqués dans de nombreuses activités telles que le langage, la coordination motrice, la mémoire prospective (i.e., se rappeler un rendez-vous le temps venu), la remémoration de souvenirs anciens, etc. (Chambon, Gil, Niedenthal, & Droit-Volet, 2005). Devant d'aussi vastes manifestations, il est normal que les chemins menant à l'étude de la perception du temps soient multiples, et que l'implication de plusieurs processus cognitifs soit scrutée minutieusement. Or, il appert qu'il y a une certaine disparité dans l'étude des processus cognitifs en lien avec la notion du temps. Par exemple, le rôle de l'attention dans la perception du temps a été décrit de long en large. Une recension relativement récente des écrits sur *l'effet d'interférence* (l'effet d'une

tâche attentionnelle secondaire sur la perception du temps; cet aspect sera détaillé dans la section 2.4.1) dénombre près de 80 expériences sur ce seul sujet (Brown, 2008b). Or, à l’opposé, l’implication de la mémoire à long terme dans la perception du temps n’a été que très peu étudiée, ce qui a notamment amené Ogden, Jones et Wearden (2008) à conclure que le manque d’études empêche de répondre à de nombreuses questions fondamentales sur l’implication de ce processus dans la perception temporelle. En effet, la mémoire à long terme a même été laissée de côté dans l’élaboration de la plupart des modèles théoriques expliquant la perception du temps (Franssen & Vandierendonck, 2002; Rattat & Droit-Volet, 2005a; Taatgen & van Rijn, 2011). Ceci s’expliquerait par le fait que la grande majorité des recherches portent sur des durées relativement courtes, allant des millisecondes à quelques secondes (Grondin, 2001, 2010). Or, les études avec des patients amnésiques indiquent qu’il faudrait avoir recours à des durées supérieures à 30s pour que la perception temporelle sollicite pleinement la mémoire à long terme (Schmitter-Edgecombe & Rueda, 2008).

Peu importe les raisons expliquant le manque d’études sur les relations entre la mémoire à long terme et la perception du temps, il apparaît nécessaire de corriger la situation. En effet, plusieurs effets connus dans le domaine de la perception temporelle suggèrent que la mémoire à long terme y joue un rôle majeur. Toutefois, avant d’approfondir la question, il est nécessaire de revoir certaines notions propres à l’étude de la mémoire et certains aspects méthodologiques propres à la perception du temps. Une fois ces bases établies, il deviendra possible de tracer le bilan des connaissances sur l’implication de la mémoire à long terme dans la perception temporelle.

1.2. Mémoire

La mémoire est probablement le processus cognitif le plus étudié en psychologie. Cependant, il est difficile d’obtenir une définition de la mémoire qui fasse l’unanimité et les modèles sont constamment remis en question. À titre d’exemple, un des chercheurs les plus réputés, Alan Baddeley, après environ 30 ans de carrière, a publié un article intitulé « Is Working memory still working? » (Baddeley, 2001). Dans cet article, il fait mention des nombreuses remises en question sur la mémoire de travail et de son impression que les connaissances

reliées à ce processus cognitif ne semblent pas avancer. Dans l'optique où il est difficile de tracer un portrait global de la mémoire, le prochain exposé sur la mémoire se contentera de définir les notions nécessaires pour bien comprendre l'implication de la mémoire dans la perception du temps. Deux grandes divisions (en sous-composantes) ou modèles de la mémoire seront plus spécifiquement détaillées, soit celle selon la durée de rétention de l'information (modèle modal), et celle selon la nature de l'information (modèle de Tulving).

1.2.1 Modèle Modal : la durée de rétention

Les théoriciens ont souvent cherché à fractionner la mémoire en sous-composantes afin d'en faciliter l'étude et la modélisation (i.e., en se concentrant sur une seule sous-composante). Une des divisions des plus anciennes et marquantes est celle proposée par Atkinson et Shiffrin (1968), aussi connue sous le nom de *Modal Model*. Ce modèle subdivise la mémoire en trois composantes, selon la durée pendant laquelle l'information est retenue en mémoire. La première composante, la *mémoire sensorielle*, retient l'information sensorielle durant quelques millisecondes, juste assez longtemps pour permettre le traitement perceptif. La deuxième composante, la *mémoire à court terme*, contient une quantité très limitée d'information durant quelques secondes, le temps d'exécuter un traitement cognitif. Le nombre d'éléments pouvant coexister en simultané en MCT, défini comme l'*empan mnésique*, est généralement établi à 7 ± 2 éléments (Miller, 1956; mais voir Cowan, 2001). Cette mémoire sert principalement pour des fins cognitives en gardant active l'information nécessaire pour résoudre un problème. Pour cette raison, la mémoire à court terme est souvent appelée la mémoire de travail. Bien que MCT et mémoire de travail soit des construits très similaires, ils ne représentent pas des termes interchangeables, considérant les origines théoriques distinctes et les sous-composantes leur étant rattachées (Baddeley, 2000; Bayliss, Jarrold, Baddeley, & Gunn, 2005). Finalement, la troisième composante du modèle modal est la *mémoire à long terme*. Cette composante renferme toutes les « inscriptions » de nature permanente conservées en mémoire. Théoriquement, les informations stockées en mémoire à long terme y sont pour une durée illimitée (bien que le rappel de ces dernières puisse être difficile). Il est important de spécifier que du moment où la trace mnésique doit être conservée

plus longtemps que quelques secondes (et sans la répéter activement en MCT), la trace mnésique doit passer en MLT. Ainsi, le terme MLT ne fait pas uniquement référence à des souvenirs très anciens; un élément peut avoir été emmagasiné en MLT assez récemment.

Proposées il y a près de 50 ans, les distinctions du modèle modal sont encore largement utilisées. Diviser la mémoire selon la durée de rétention de l'information est en effet très pratique, puisqu'il est normal qu'il y ait des différences fonctionnelles et structurales entre des mécanismes selon que la rétention soit courte ou permanente. Dans le cadre de cette thèse, ce sont les mécanismes liés à la mémoire à long terme qui seront pertinents et pour cette raison, les prochaines sections porteront sur celle-ci et non les autres types de mémoire.

1.2.2 Modèle de Tulving : la nature de l'information

La mémoire à long terme peut elle aussi être subdivisée en différentes sous-composantes. En effet, lorsque vient le temps de définir la mémoire à long terme, plusieurs modèles s'affrontent. Ceux-ci diffèrent en fonction des subdivisions postulées. Le modèle des systèmes¹ proposé par Tulving (1985) est certainement un des plus influents. La division présentée par Tulving comporte des sous-systèmes selon le type d'information qui est traitée. Bien que le nombre de composantes (et sous-composantes) puisse être objet de débat, on reconnaît généralement trois grandes catégories de mémoire à long terme au modèle de Tulving : la mémoire *épisode*, la mémoire *procédurale* et la mémoire *sémantique* (Schacter & Tulving, 1994).

La mémoire épisodique peut être vue comme la mémoire autobiographique (Tulving, 1986; Tulving & LePage, 2000). Elle consiste en un récit narratif des événements ayant marqué le quotidien d'une personne. Ainsi, elle concerne autant le souvenir d'événements

¹ Depuis la proposition initiale de Tulving, plusieurs adaptations ont été proposées par différents chercheurs. Ainsi, la mention *modèle des systèmes* fait maintenant référence à plusieurs modèles théoriques, soit une catégorie de modèles avec une base théorique commune.

marquants (comme son propre mariage) que le souvenir d'événements banals (comme se rappeler son déjeuner de la journée précédente).

La mémoire procédurale peut être vue comme la mémoire du *comment*. Elle contient les informations relatives à l'exécution d'une tâche. Par exemple, savoir comment faire de la bicyclette est une illustration typique de savoir procédural. Il est important de mentionner qu'il n'est pas nécessaire de se rappeler quand et comment on a appris à faire du vélo pour se rappeler comment en faire. Le savoir procédural est donc indépendant du souvenir épisodique relié à cet apprentissage. De même, le savoir procédural est dit implicite puisqu'il ne nécessite pas de remémoration consciente; l'activité s'exécute de façon automatique (Tulving, 1989).

Finalement, la mémoire sémantique fait référence aux connaissances emmagasinées. Par exemple, se rappeler la date de l'assassinat de John F. Kennedy est un exemple typique de mémoire sémantique. La mémoire sémantique est également indépendante de la mémoire épisodique. Par exemple, il n'est pas nécessaire de se rappeler quand on a appris le sens du mot « chat » pour reconnaître un chat dans la rue (Tulving, 1986, 1991).

1.2.3 Modèle de Tulving : limites et alternatives

Comme mentionné ci-dessus, aucun modèle de la mémoire ne fait l'unanimité. Le modèle des systèmes de Tulving ne fait pas exception. Puisque ce modèle sera utilisé comme base de référence pour les sections suivantes, il apparaît important d'en soulever les points les plus faibles. Le principal reproche qui lui est fait est de fractionner la mémoire en une multitude de systèmes indépendants, plutôt que de voir la mémoire comme un processus global, comme un ensemble de processus dépendants (Roediger, Buckner, & McDermott, 1999). Également, basé en grande partie sur les études neuropsychologiques, le modèle des systèmes de Tulving relie systèmes et structures, alors que plusieurs prétendent que la mémoire est un ensemble de processus plus diffus dans le cerveau, ne pouvant pas être attribués à des structures précises. Cela dit, ce modèle bénéficie d'un soutien empirique très solide (Rosenbaum, et al., 2005; Tulving, 2002, 2007), ce qui explique pourquoi il est si connu et si employé.

Également, sa distinction selon la nature de l'information est très intuitive, permettant ainsi de facilement conceptualiser différents aspects de la mémoire. Ces aspects pratiques et empiriques expliquent pourquoi il est retenu dans le cadre de la présente thèse.

1.3 Méthodologies en perception du temps.

Tel qu'indiqué en introduction, la perception du temps est un processus vaste, complexe et présent dans de nombreuses situations quotidiennes. L'éventail d'outils méthodologiques utilisés par les chercheurs en perception du temps reflète cette complexité. Il convient alors de définir les principales méthodes employées par les chercheurs dans le domaine de la perception temporelle. Cette démarche permet aussi d'identifier certains points clés pour étudier l'implication de la mémoire à long terme dans la perception du temps. La section suivante introduira les paradigmes d'estimation temporelle ainsi que les méthodes d'estimation temporelle.

1.3.1 Paradigmes prospectif et rétrospectif

Deux paradigmes de recherche, prospectif et rétrospectif, sont employés en perception du temps (Grondin & Laflamme, 2015). En situation prospective, le participant est averti, avant le début de l'écoulement de la durée à estimer, qu'il doit porter attention au temps. À l'inverse, en situation rétrospective, le participant n'est averti qu'après la tâche que le temps était fondamental pour l'étude (Hicks, Miller, & Kinsbourne, 1976). La clé derrière cette manipulation est la différence dans la quantité d'attention qui peut être allouée au temps. En effet, en situation prospective, le participant est au courant qu'il aura à effectuer un jugement temporel sur la tâche. Ainsi, il peut volontairement allouer plus de ressources attentionnelles au passage du temps. À l'inverse, les participants en situation rétrospective sont « surpris » par le jugement temporel, ils n'ont donc pas pu allouer autant d'attention au temps, ou peut-être n'y ont-ils pas porté attention du tout. La très grande majorité des études emploient le paradigme prospectif, puisqu'il est le seul à permettre aux participants d'effectuer plusieurs jugements temporels en série. En effet, en situation rétrospective, après un premier jugement,

le participant sait que le temps est important pour l'étude; ses jugements subséquents deviennent donc prospectifs. Bien que certains auteurs aient proposé des moyens de contourner ce problème (Grondin & Plourde, 2007; Tobin & Grondin, 2009), le nombre d'expériences conduites avec le paradigme prospectif demeure nettement plus élevé par rapport au paradigme rétrospectif.

Le type du paradigme est particulièrement important à prendre en compte puisque chacun impliquerait des processus cognitifs distincts (Block, Hancock, & Zakay, 2010; Block & Zakay, 1997). En effet, de nombreuses études recensent une double dissociation, soit un effet opposé de deux variables sur les deux paradigmes. En présence d'une tâche non temporelle secondaire, la difficulté de cette tâche a un fort effet sur les estimations prospectives (effet d'interférence) : plus cette tâche est difficile, plus elle requiert d'attention et plus le temps est perçu comme étant court (Block et al., 2010; Block & Zakay, 1997; Hicks et al., 1976; McClain, 1983). À l'opposé, une demande attentionnelle secondaire n'influence pas le temps en situation rétrospective (Block et al., 2010; Block & Zakay, 1997). Pour ce paradigme, la variable importante serait la segmentation (division de la tâche en sous-ensembles). Plus une tâche est segmentée, plus elle offre de points de repère en mémoire et plus sa reconstruction mentale sera facile. Par conséquent, rétrospectivement, son estimation temporelle sera plus longue (et donc plus précise, puisque les estimations rétrospectives sont généralement trop courtes (Zakay, Tsal, Moses, & Shahar, 1994).

Ainsi, selon la plupart des théoriciens, la précision de l'estimation temporelle en paradigme prospectif dépend principalement de l'attention, alors que pour le paradigme rétrospectif, elle dépend principalement de la mémoire (Block et al., 2010; Block & Zakay, 1997; Zakay & Block, 2004). Cela dit, cette vision des choses ne fait pas l'unanimité. En effet, en se basant sur les travaux de Brown (Brown, 1985; Brown & Stubbs, 1992), Tobin, Bisson et Grondin (2010) proposent que cette vision des paradigmes est trop dichotomique. Selon leur proposition, il serait préférable de voir la différence entre les deux méthodes d'estimation temporelle de manière quantitative, plutôt que qualitative. Ainsi, les deux paradigmes utiliseraient les deux mêmes mécanismes, à savoir l'attention et la mémoire, mais dans des proportions différentes (Tobin et al., 2010).

La présente thèse se concentrera principalement sur l'estimation temporelle en situation prospective pour deux principales raisons. Tout d'abord, c'est le paradigme qui permet d'étudier la perception temporelle la plus optimale (avec l'ensemble des ressources cognitives disponibles). Également, le rôle de la MLT pour ce paradigme est moins bien établi que pour le paradigme rétrospectif; la contribution de la thèse pouvant donc s'avérer plus importante en termes d'avancées théoriques.

1.3.2 Méthodes d'estimation temporelle

La méthode par laquelle le participant rend son jugement sur la durée à estimer est également à prendre en considération puisque différentes méthodes peuvent impliquer différents processus. On reconnaît généralement quatre méthodes ou catégories de jugements temporeux (Grondin, 2008, 2010). La première consiste en *l'estimation verbale*. Pour ce faire, le participant doit explicitement quantifier la durée cible, généralement en unités de temps (i.e. des secondes ou des minutes). Sujette à une plus grande variabilité et sensible à l'effet d'arrondissement (i.e. au 10s le plus près), cette méthode est utilisée généralement avec les durées plus longues. Les deux méthodes suivantes sont très semblables et consistent en la *production* et la *reproduction*. Lors de la production, on informe le participant qu'il doit exécuter une tâche pour une durée cible (i.e., taper des mains pendant 10s). La reproduction est très similaire, à l'exception que dans ce cas, le participant se voit présenter un exemple de la durée cible qu'il tente de reproduire par la suite. Finalement, la quatrième méthode est celle de la *comparaison*. Dans cette dernière, une ou plusieurs durées de référence sont présentées aux participants. Ces durées sont ensuite comparées avec d'autres durées. Les participants doivent alors évaluer si la durée présentée correspond à la durée standard ou encore dire si elle est plus longue ou plus courte, selon la tâche.

La Figure 1 extraite de Grondin (2010) offre un bon résumé des différentes méthodes de recherche en perception temporelle. Puisque plusieurs de ces méthodes reviendront tout au long de la présente introduction, le lecteur pourra se référer à cette figure au besoin. La distinction entre ces différentes méthodes est particulièrement importante, puisqu'elle sous-tend différents mécanismes cognitifs et par le fait même, différents niveaux d'implication de la mémoire à long terme. Afin de simplifier la nomenclature et la présentation des résultats

empiriques qui suivront, deux grandes catégories de méthodes de recherche seront proposées sur la base des méthodes de recherches proposées par Grondin (2010).

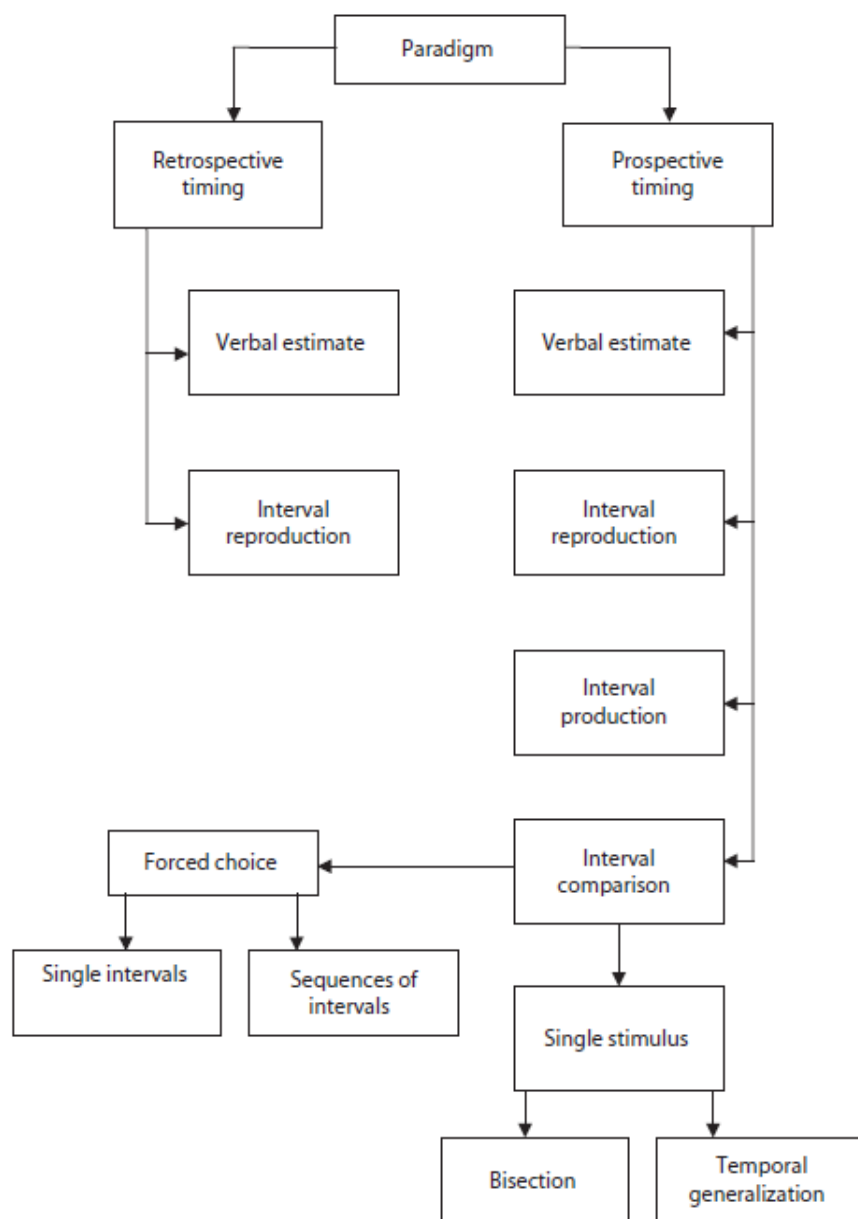


Figure 1. Schematic of the main methods used in the study of timing and time perception.

Figure 1. Schematic of the main methods used in the study of timing and time perception

(extrait de Grondin, 2010, p565)

La première, *les jugements de discrimination*, n'implique que des jugements ordinaux ou dichotomiques ayant pour but de discriminer ou de reconnaître une durée cible. Par exemple, « est-ce que le son entendu est de durée similaire ou plus longue que le son standard? » La grande majorité des études sur la mémoire temporelle emploie des tâches utilisant ce type de jugement et implique la méthode de *comparaison*. Pour l'autre catégorie de jugements, il ne suffit pas d'identifier un stimulus ; il est nécessaire de le quantifier. Ces jugements emploient donc une échelle de mesure distincte, soit de ratio. La deuxième catégorie de jugements peut être définie comme étant *des jugements de quantification*. Ce type de jugements requiert des participants qui quantifient la durée, regroupant ainsi les méthodes d'estimation verbale et de re/production.

1.4 Conclusions

Le présent chapitre présentait certaines notions préalables reliées à la mémoire et à la méthodologie employée en perception temporelle. Certaines notions clés seront primordiales pour les sections suivantes. Tout d'abord, il est essentiel de se rappeler que la durée pendant laquelle un item est contenu en mémoire dicte le type de mémoire en jeu (sensorielle, court terme et long terme). Le présent projet se concentrera uniquement sur la MLT. Également, au sein même de la MLT, des sous-catégories ont été proposées par Tulving selon le type d'information qui est traitée (épisodique, procédurale et sémantique). Ces sous-catégories seront utilisées plus loin dans le but de dissocier différents types de mémoires reliées aux durées.

La tâche employée en perception temporelle a une influence directe sur les mécanismes employés pour la résoudre. La dissociation des tâches de comparaison et de quantification reviendra souvent au cours des prochaines sections, puisqu'elles impliquent justement différents types de demandes au niveau de la MLT. Les expériences menées dans le cadre de cette thèse seront uniquement des tâches de quantification.

Chapitre 2 : Mémoire à long terme et perception du temps

Ce chapitre est consacré à l'implication de la mémoire à long terme dans la perception du temps. Ce sujet sera abordé sous quatre angles principaux : que savons-nous de cette implication, y a-t-il différents types de mémoires reliées aux durées, comment la MLT est-elle conceptualisée dans les différents modèles théoriques et finalement, comment la MLT interagit-elle avec les autres mécanismes de la perception temporelle?

Avant de traiter de la MLT, il est nécessaire d'ouvrir une courte parenthèse afin de dissocier son rôle de celui de la mémoire à court terme. En effet, la section qui suit tentera de cerner uniquement le rôle de la MLT dans la perception du temps. Cela ne veut pas dire que la mémoire à court terme n'a pas un rôle à jouer dans ce processus. Effectivement, plusieurs études mettent en évidence le rôle de la mémoire à court terme dans la perception temporelle. Par exemple, Broadway et Engle (2011) ont comparé de jeunes adultes en santé, selon qu'ils aient de bonnes ou de moins bonnes habiletés de mémoire de travail. Or, les participants avec la meilleure mémoire de travail étaient plus précis dans une tâche de reproduction temporelle que les participants avec une plus faible mémoire de travail.

De même, plusieurs études par Fortin et collègues (Fortin, 1999; Fortin & Breton, 1995; Fortin & Rousseau, 1998) démontrent qu'effectuer une tâche exigeante au niveau de la mémoire de travail interfère grandement avec la précision de la perception temporelle. Cependant, selon ces auteurs, cet effet serait davantage causé par la présence d'une double tâche (tâche temporelle et tâche non-temporelle mnésique) sollicitant également des processus attentionnels. En effet l'attention est étroitement liée à la mémoire de travail, rendant pratiquement impossible qu'une tâche devant cibler la mémoire de travail n'affecte pas l'attention en simultané (Fortin & Rousseau, 1998). Ainsi, l'ajout d'une tâche sollicitant la mémoire de travail a un effet sur la perception temporelle très similaire à celui d'une tâche attentionnelle puisque justement, elle sollicite l'attention. Bref, l'implication de la mémoire à court terme dans la perception temporelle peut être vue de façon linéaire (comme celle de l'attention) : plus il y a des ressources disponibles, plus la perception du temps sera précise (voir la section 2.4.1).

Bien qu'il soit important de souligner le rôle de la MCT dans la perception temporelle, la présente thèse se concentre sur le rôle de MLT, et plus précisément sur l'influence des connaissances temporelles ayant été acquises *avant l'estimation temporelle* de cette tâche (donc forcément en MLT et non pas en MCT). Il s'agit d'un processus nettement différent de celui auquel on réfère lors des études mesurant les ressources attentionnelles et mnésiques disponibles *pendant* la tâche. Par exemple, une personne a répété des milliers de fois une même tâche et doit maintenant en estimer la durée. Ainsi, sans pour autant affirmer que d'autres mécanismes ne sont pas activement impliqués dans la perception temporelle au moment de rendre le jugement, l'accent ici est mis sur l'influence des nombreuses répétitions *préalables* de ladite tâche sur la précision de son estimation temporelle.

2.1 Connaissances actuelles sur l'implication de la mémoire à long terme dans la perception du temps

2.1.1 Amnésie : importance d'une MLT intacte

Une des plus évidentes façons d'étudier le rôle de la mémoire à long terme dans la perception du temps est d'évaluer les patients n'ayant plus de mémoire à long terme, soit les patients souffrant d'amnésie antérograde (Grondin, Pouthas, Samson, & Roy, 2006). En effet, que ce soit attribuable à une lésion cérébrale ou encore au syndrome de Korsakoff, l'amnésie antérograde empêche la rétention de nouveaux souvenirs. Or, de nombreuses études ont démontré une piètre estimation du temps chez les patients souffrant de ce type d'amnésie (Damasceno, 1996; Kinsbourne & Hicks, 1990; Mimura, Kinsbourne, & O'Connor 2000; Perbal, Pouthas, & Van der Linden, 2000; Schmitter-Edgecombe & Rueda, 2008; Shaw & Aggleton, 1994; Williams, Medwedeff, & Haban, 1989). Ces études convergent vers un constat fort intéressant, soit que l'amnésie n'affecte la précision de la perception du temps que pour des intervalles relativement longs. Dit autrement, les amnésiques seraient assez précis pour estimer de courtes durées (1 à 3 secondes), mais deviendraient très imprécis lorsque les durées s'allongent. Le seuil à partir duquel ils deviennent imprécis est discutable, mais il se situerait aux alentours de 20-30s (Schmitter-Edgecombe & Rueda, 2008). La Figure 2, extraite de Schmitter-Edgecombe et Rueda (2008), montre bien cette distinction s'opérant

aux alentours de 30s. En effet, pour les deux premières durées à l'étude (10s et 25 s), les patients amnésiques et les patients contrôles avaient un degré de précision similaire. Toutefois, pour les deux autres durées de 45s et 60s, les patients amnésiques ont estimé le temps comme étant plus court.

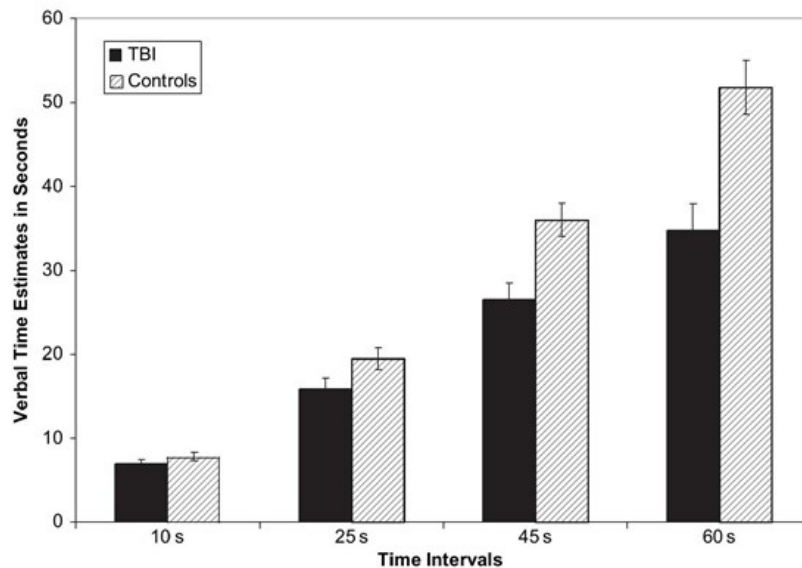


Figure 1. Mean verbal time estimates for the TBI and control groups plotted relative to actual clock time.

Figure 2. Estimation temporelle verbale de patients ayant subi un traumatisme cérébral causant une amnésie (TBI; noir) et de participants sains (hachuré) en fonction de la durée à estimer. Il y a une différence significative uniquement pour les durées de 45s et 60s (Extrait de Schmitter-Edgecombe et Rueda, 2008, p217).

Ainsi, ce genre d'étude portant sur les patients amnésiques démontre que la mémoire à long terme est essentielle pour la perception du temps, du moins pour les durées assez longues. Ceci souligne la nécessité de reconsidérer l'implication de la MLT dans la perception du temps. Toutefois, bien que fort intéressants, les résultats de ces études présentent peu d'information à savoir *comment* la MLT est employée afin d'estimer le temps.

2.1.2 Trace mnésique

Avant de déterminer directement comment la MLT contribue activement à la perception temporelle, il est nécessaire d'étudier comment l'information temporelle est maintenue en MLT. Effectivement, qu'en est-il de l'information temporelle en mémoire? Est-elle stockée en mémoire? Pour combien de temps? Comment est-elle apprise? Est-ce que tous les types de mémoire sont semblables?

La plupart des connaissances en lien avec ce sujet proviennent d'études ayant eu recours à la méthode de comparaison. Règle générale, ces recherches utilisent soit la méthode de la *bissection temporelle*, soit de la *généralisation temporelle*. Lors de la généralisation, une durée standard est présentée. Ensuite, des stimuli d'une durée inférieure, supérieure et égale sont présentés. Le participant doit indiquer si chaque stimulus présenté correspond à la durée standard. Dans le cas de la bissection, deux durées standards sont présentées; une courte (C) et une longue (L). Ensuite, des stimuli ayant une durée s'étalant entre C et L sont présentés. Le participant doit indiquer si le stimulus présenté est davantage similaire à C ou à L (en termes de durée). Conçues dans le cadre de la recherche animale (Church & Deluty, 1977), ces deux méthodes ont été appliquées à la recherche chez l'humain (Allan & Gibbon, 1991; Wearden, 1991, 1992). En effet, grâce à la simplicité des tâches, elles sont applicables à de nombreuses populations, permettant ainsi des comparaisons entre les espèces (Penney, Gibbon, & Meck, 2008), entre les groupes d'âge (Droit-Volet, Clément, & Wearden, 2001; Droit-Volet, Tourret, & Wearden, 2004; McCormack, Brown, Maylor, Darby, & Green, 1999; McCormack, Wearden, Smith, & Brown, 2005; Rattat & Droit-Volet, 2001) ou encore avec des populations cliniques (Melgire, et al., 2005; Penney, Meck, Roberts, Gibbon, & Erlenmeyer-Kimling, 2005; Wearden, et al., 2008).

Ces deux méthodes expérimentales nécessitent de retenir en mémoire la durée d'un ou deux standards. Ainsi, ces deux méthodes sont souvent employées afin d'étudier le rôle de la mémoire dans la perception du temps. En effet, dans les tâches de bissection et de généralisation originales (elles ont été modifiées par la suite pour mesurer l'utilisation de la mémoire, voir plus loin), les standards ne sont présentés qu'au début de la tâche. Les participants doivent donc transférer en mémoire à long terme les représentations des

standards. Il s'agit donc de MLT et non pas de MCT; la tâche est trop longue pour maintenir activement la trace en mémoire à court terme.

2.1.2.1 Durée de rétention

La première caractéristique à propos de la trace mnésique concerne sa durée de rétention : combien de temps est-elle contenue en MLT? Rattat et Droit-Volet (2005b) se sont penchées sur la question de la durée de rétention dans une perspective développementale. Elles ont comparé trois groupes d'âge : 3 ans, 5 ans et 8 ans lors d'une tâche de bissection en introduisant un délai entre l'apprentissage des standards et l'évaluation. Les enfants devaient mémoriser les standards et la bissection avaient lieu après un des délais suivants : immédiatement après, 15 minutes après ou encore 24 h après (expérience 2). Leurs résultats démontrent une disparité entre les 3-5 ans et les 8 ans. En effet, le délai de 24 h a produit une baisse significative de la performance lors de la tâche de bissection chez les 3-5 ans. Toutefois, ce même délai n'a que très peu affecté la performance des enfants de 8 ans. Ainsi, cette étude suggère qu'une fois un âge minimal atteint (entre 5 et 8 ans), les informations temporelles sont stockées en mémoire à long terme pour une longue période, 24 h n'étant pas assez pour provoquer un oubli.

Une autre étude, encore une fois conduite dans une perspective développementale avec des enfants de 3 et 5 ans, a permis d'évaluer la durée de rétention de l'information temporelle dans une tâche de reproduction (Rattat & Droit-Volet, 2007). Dans cette étude, les enfants devaient apprendre à produire une durée de 5 s. Subséquemment, la précision de leur production était évaluée après un délai de 1, 24 et 48 heures, ainsi que 6 jours, semaines et mois. Les résultats ont montré que bien qu'il y ait un léger déclin entre la performance après un long délai et un test immédiat, la performance après l'entraînement était toujours supérieure à celle enregistrée avant la phase d'entraînement. Ainsi, même après un délai de six mois (et dans une population de très jeunes enfants), une durée apprise en mémoire était toujours accessible. Cette étude contraste avec celle mentionnée précédemment employant une généralisation temporelle. En effet, dans leur étude de généralisation mentionnée plus tôt, Rattat et Droit-Volet (2005b) ont obtenu, pour le même groupe d'âge, une détérioration de la performance nettement plus importante après un délai de seulement 15 minutes. Il

apparaît donc que la tâche employée peut provoquer des traces mnésiques différentes selon les spécifications qu'elle exige. Il est toutefois important de noter que ce type d'étude n'a pas été effectué avec une population adulte. Par contre, puisqu'il y a plusieurs similarités dans la perception temporelle des enfants et des adultes (Bisson, Tobin, & Grondin, 2012), il est logique de croire que les résultats des enfants de 8 ans ne sont pas trop éloignés de ce à quoi on pourrait s'attendre de la part de participants adultes.

2.1.2.2 Interférence

Une autre information importante en ce qui a trait aux caractéristiques de la trace mnésique est sa résistance à l'interférence causée par d'autres tâches (distraction), ou encore par d'autres traces mnésiques. À cet égard, Ogden et al. (2008) ont testé la robustesse des traces mnésiques reliées au temps dans une série de six expériences de généralisation temporelle. Ils ont étudié l'effet d'une tâche interférente, et de différents délais entre les tests. Par exemple, les participants exécutaient une première tâche de généralisation avec un standard « A ». Ensuite, comme tâche interférente, ils devaient exécuter une autre généralisation temporelle avec un standard différent « B ». Par la suite, ils étaient réévalués sur la généralisation avec le standard initial A. La conclusion de leur série d'études est que les traces mnésiques reliées au temps ne sont pas absolues; elles sont influencées par les tâches interférentes. Par exemple, si le standard B était plus long que le standard A, lors de la deuxième évaluation avec le standard A, les participants avaient un souvenir plus long du standard A, ce dernier ayant été influencé par la longueur de B.

Taatgen et Van Rijn (2011) ont employé une méthode fort intéressante pour étudier l'effet de la modification d'une trace mnésique sur une autre trace mnésique reliée. En effet, dans leur étude, les participants devaient continuellement reproduire deux durées cibles en alternance (une courte de 2 s et une longue de 3 s). Par contre, la durée cible longue était allongée/raccourcie progressivement de quelques ms par essais à l'insu des participants, alors que la durée cible courte demeurait la même (puisque'il s'agit d'une reproduction, la durée cible est présentée à chaque essai pour être reproduite). Cette méthode permettait de modifier la différence (écart) entre les deux durées cibles et de voir comment cette modification

affectait la perception de la durée inchangée. Si la trace mnésique de la durée courte (invariable) est robuste à l'interférence, elle devrait rester la même, peu importe que la durée longue soit allongée ou raccourcie.

Leurs résultats ont plutôt montré que les deux traces mnésiques étaient dépendantes l'une de l'autre et donc sensibles à l'interférence. En effet, les résultats (voir la Figure 3) démontrent que lorsque la durée cible longue s'allonge, les participants allongent proportionnellement leur reproduction de la durée courte. De même, lorsque la durée cible raccourcit, les participants raccourcissent leurs reproductions de la durée courte de façon proportionnelle. Ainsi, les résultats montrent que ces deux traces mnésiques sont étroitement liées et c'est davantage l'écart relatif entre les deux qui demeure stable au fil des modifications.

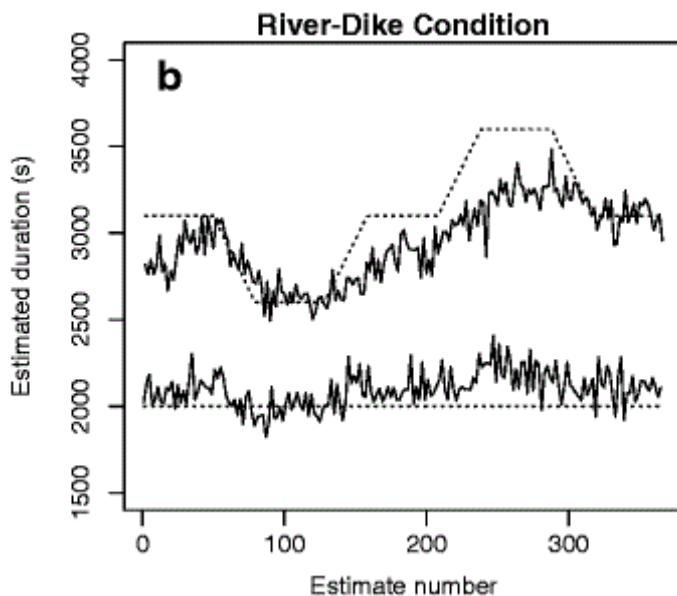


Figure 3. Productions des durées courtes (2000ms) et longues (3000ms) au fil des essais (350) et selon les modifications apportées à la durée longue. Cette figure démontre la condition dans laquelle la durée longue était raccourcie et puis allongée. La représentation de la durée courte suit les changements provoqués par la modification de la durée longue. (Extrait de Taatgen et Van Rijn, 2011, p.1550).

2.1.2.3 Données neurologiques

Plusieurs auteurs ont utilisé l'électroencéphalographie (EEG) pour étudier les mécanismes impliqués dans des tâches temporelles (Gontier, Hasuo, Mitsudo & Grondin, 2013; Macar & Vidal, 2003, 2009; Ng, Tobin, & Penney, 2011; Tarantino, et al., 2010). Cette démarche a notamment permis de démontrer clairement la présence de traces temporelles en MLT, traces employées lorsqu'une durée test doit être comparée à une durée apprise.

La plupart de ces études se basent sur la Contingent Negative Variation (CNV), un potentiel évoqué relié à la perception temporelle et à la préparation motrice. La CNV comporte trois phases principales (voir Figure 4).

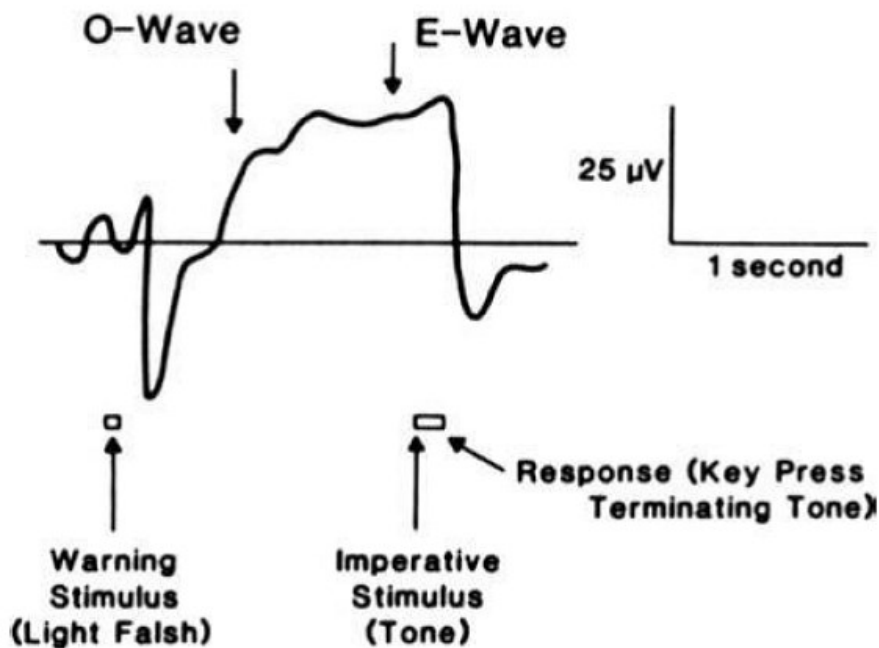


Figure 4. CNV classique, Extrait de (Fabiani, Gratton, & Federmeier, 2007)

Tout d'abord, l'onde débute par une rapide déflexion positive reliée à la détection du stimulus et interprétée comme le signal de départ (c'est-à-dire le signal débutant l'activité de chronométrage de la durée à estimer). Cette déflexion positive survient généralement environ 300 ms après la présentation du stimulus. Il s'ensuit une deuxième composante, soit une lente

pende négative. Cette lente pente négative est la caractéristique centrale de la CNV et est interprétée comme une certaine accumulation temporelle, c'est-à-dire que tant que la pente négative progresse, le participant est en train de « chronométrer » une durée. Ainsi, lorsque le participant arrête de chronométrer, la pente négative arrête. Le point où le potentiel électrique est le plus négatif est nommé « sommet » et ce dernier est interprété comme la fin de l'accumulation temporelle en mémoire. Finalement, la troisième phase voit le potentiel électrique retourner au niveau de base. Cette période n'est généralement pas étudiée dans le cadre de la perception temporelle et correspond à la période pendant laquelle le participant donne une réponse. Plusieurs études présentent la CNV comme un reflet de la représentation temporelle en mémoire (Ng et al., 2011)

L'exemple des CNV enregistrées par Macar et Vidal (2003) est assez probant. En effet, dans leur étude, les participants devaient apprendre une durée cible de deux secondes. Une fois cette durée cible apprise, les participants devaient juger d'autres durées étant plus longues ou plus courtes que la durée cible (similaire à une généralisation temporelle). Les CNVs obtenues lorsque des durées tests plus longues que la durée cible sont présentées démontrent que le sommet de la CNV demeure à 2s, soit au niveau de la durée cible. En effet, même si les stimuli plus longs (i.e., 3,1 s) ne sont pas encore terminés, le sommet de la CNV se situe à 2 s, le potentiel électrique retournant vers la normale par la suite. Ce résultat montre clairement que les participants emmagasinent une trace mnésique de la durée cible correspondant à 2 s. Lorsque celle-ci est atteinte, la CNV prend fin. Les participants comparent donc les durées tests à la trace mnésique qu'ils ont emmagasinée.

Finalement, Ng et al. (2011) ont récemment employé la CNV lors d'une tâche temporelle plus complexe, soit la bissection. Leurs résultats contrastent avec l'explication originale de la bissection voulant que les deux durées cibles (courte et longue) soient comparées aux durées tests. En effet, le sommet de la CNV obtenu dans cette étude correspondait à la plus courte des durées cibles (800ms; comparé à 3200ms pour la longue). De plus, plutôt que de retourner rapidement à la normale, la CNV formait un plateau, jusqu'à

la moyenne géométrique² entre les deux durées (1600ms), pour ensuite retourner rapidement au niveau de basse. Or, ces résultats démontrent que les participants utilisent davantage la représentation mnésique du plus court des standards. En effet, il appert que les participants utilisent cette trace mnésique pour créer un critère de décision à partir duquel les durées tests passent de « courtes » à « longues », expliquant la présence du plateau inhabituel dans la CNV (le plateau correspondant à la plage de durée pendant laquelle les participants catégorisent les durées comme étant courtes).

En résumé, les études ayant eu recours aux mesures électroencéphalographiques démontrent clairement la présence d'information temporelle en mémoire. De plus, elles démontrent que cette information semble directement reliée à la performance lors de tâches de comparaison temporelle. Il est toutefois important de souligner que de telles conclusions n'ont pas été obtenues avec des tâches temporelles plus complexes (comme l'estimation verbale).

La prochaine section portera sur des études ayant tenté de mesurer directement l'influence de ces traces mnésiques sur les performances temporelles.

2.1.3 Effet de la MLT sur la performance temporelle

Dans cette section, les conclusions de trois types de tâches temporelles distinctes seront rapportées en détail : la prédiction, la comparaison et la quantification. De plus, un mécanisme pouvant expliquer comment la MLT permet d'améliorer la performance temporelle sera décrit.

2.1.3.1 Tâches de prédiction temporelle

L'effet de la MLT sur la précision temporelle peut être étudié en évaluant l'effet de l'expérience préalable avec une tâche. Cependant, jusqu'à maintenant, cette variable est

² Dans le cadre de la bissection temporelle, de nombreuses études révèlent que le point d'égalité subjective entre les durées courte et longue se situe davantage au niveau de la moyenne géométrique, et non pas au niveau de la moyenne arithmétique. (Ng et al., 2011)

uniquement considérée lors d'études portant sur la *prédiction temporelle*. La prédiction est généralement exclue des études sur la perception du temps³. En effet, à proprement parler, la prédiction ne requiert pas vraiment de percevoir le temps : il suffit d'émettre un jugement *avant* que la durée à percevoir ne commence. Ainsi, ce processus est davantage étudié dans une perspective de gestion du temps (Buehler, Peetz, & Griffin, 2010; Burt & Kemp, 1994) que de perception temporelle. Toutefois, ce jugement doit forcément être basé sur une certaine connaissance du temps requis pour exécuter une tâche, soit les connaissances temporelles en MLT. Or, l'étude de la prédiction du temps, bien que souvent mise de côté par les chercheurs en perception, apparaît comme une source d'information importante pour comprendre le rôle de la mémoire temporelle.

De nombreux auteurs se sont penchés sur l'effet d'expériences préalables sur la prédiction d'une tâche. Par exemple, Thomas et collègues (Thomas & Handley, 2008; Thomas, Handley, & Newstead, 2004, 2007; Thomas, Newstead, & Handley, 2003) ont démontré lors de plusieurs études que l'expérience préalable avec une tâche aide grandement à prédire la durée de cette tâche. Leurs résultats démontrent que le fait d'effectuer ne serait-ce qu'une petite partie de la tâche à prédire (pour en donner un aperçu) améliore grandement la justesse de la prédiction (Thomas et al., 2003). Toutefois, pour que l'expérience préalable augmente la précision de la prédiction, il est préférable de pratiquer spécifiquement la tâche à prédire plutôt que d'entraîner une autre tâche de durée égale (Thomas & Handley, 2008; Thomas et al., 2007).

La majorité des études se penchant sur la prédiction temporelle tente d'expliquer un constat très bien établi, soit la nette tendance à sous-estimer le temps qu'un projet va prendre, que ce soit rédiger une thèse, construire un immeuble ou rénover une pièce. Ce phénomène est également nommé *Planning Fallacy* (Boltz & Yum, 2010; Buehler, Griffin, & Ross, 1994; Buehler, et al., 2010; Byram, 1997; Forsyth & Burt, 2008; Griffin & Buehler, 2005). Pour expliquer ce phénomène, Thomas et al. (2003), propose qu'une personne se base sur deux types d'informations pour prédire la durée d'une tâche. Premièrement, *l'information singulière* fait référence aux caractéristiques de la tâche (est-elle complexe, courte, physique,

³ Par exemple, Grondin (2010) ne l'inclut pas dans la liste des tâches employées en perception du temps.

intellectuelle?). Deuxièmement, *l'information distributionnelle* correspond aux expériences préalables avec ce type de tâche (Thomas et al., 2003). C'est à ce niveau que l'information temporelle en mémoire entre en ligne de compte. Or, si cette information est utilisée afin de prédire le temps avant le début d'une tâche, pourquoi ne serait-elle pas utilisée pour favoriser l'estimation de la durée une fois la tâche terminée?

À ce propos, les travaux de Roy et collègues sont particulièrement informatifs (Roy & Christenfeld, 2007, 2008; Roy, Christenfeld, & McKenzie, 2005a, 2005b; Roy, Mitten, & Christenfeld, 2008). Par exemple, Roy et al. (2008) ont étudié la corrélation entre temps estimé et temps prédit. Lors de deux expériences, les participants exécutaient une tâche et estimaient rétrospectivement le temps écoulé. Par la suite, ils devaient prédire le temps nécessaire pour refaire la tâche. Or, leur prédiction était nettement influencée par la durée de leur première estimation, même si cette dernière pouvait avoir été faite il y a une semaine (expérience 2). De plus, les participants ayant eu des rétroactions suite à leur jugement rétrospectif initial ont été nettement plus précis lors de la prédiction : ils ont donc utilisé les connaissances antérieures mises à leur disposition. Également, dans une troisième expérience, les auteurs ont démontré que l'information temporelle en mémoire ne doit pas nécessairement provenir d'expériences personnelles. En effet, plutôt que de donner des rétroactions aux participants à propos de leur propre durée, ils ont donné de l'information quant au temps requis par la moyenne des participants pour exécuter la tâche. Or, les résultats démontrent que les participants se sont basés sur cette information. Même si elle provenait d'autrui, cette information était la seule disponible pour donner un ordre de grandeur à la tâche dont il devait prédire la durée. La provenance de l'information (propre à soi ou à autrui) n'apparaît donc pas très importante : l'essentiel est d'avoir une certaine connaissance de la durée de la tâche. Cette caractéristique est très informative sur le type d'information qui est stockée en mémoire.

Pour conclure à propos de la prédiction, bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler de perception du temps, les études sur la prédiction démontrent tout de même que l'information temporelle en mémoire est employée lors d'un jugement à caractère temporel (prédiction). Reste maintenant à savoir comment cette information est employée lors d'une tâche de *réelle* perception temporelle.

2.1.3.2 Tâches de comparaison temporelle

Peu d'études employant des tâches de comparaison se sont penchées sur l'effet de la MLT sur la performance temporelle (Droit-Volet & Izaute, 2005, 2009). En effet, ce type de tâche offre une mesure de performance (i.e., le pourcentage de bonnes réponses) moins détaillée que des tâches d'estimation verbale. Droit-Volet et Izaute (2005) ont comparé, autant chez des enfants que chez des adultes, deux conditions de généralisation temporelle : une normale et une dans laquelle les participants recevaient des rétroactions sur la précision de leurs jugements temporels. Ces rétroactions avaient comme objectifs de renforcer la trace mnésique de la durée standard à mémoriser, étudiant ainsi le rôle de la MLT sur la performance temporelle. Leurs résultats démontrent que la courbe de performance (fonction psychométrique) est nettement supérieure pour la condition avec rétroactions comparativement à la condition sans rétroaction, comme le montre la Figure 5 extraite de Droit-Volet et Izaute (2005, p512). Ainsi, cette étude démontre qu'une trace mnésique mieux définie (enrichie par les rétroactions) améliore la discrimination du temps.

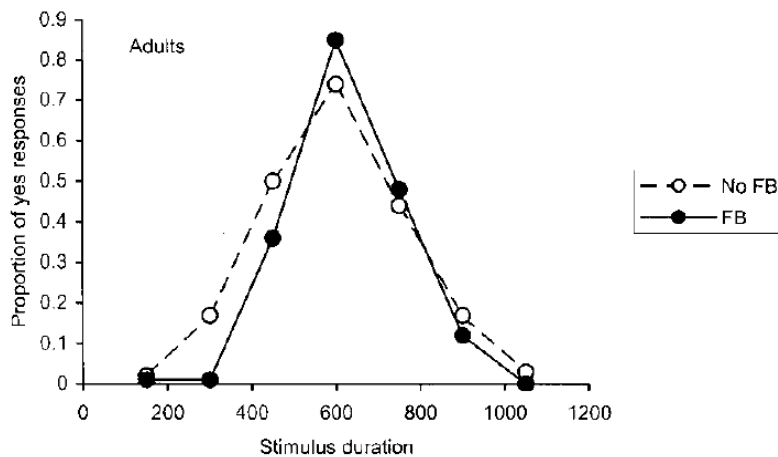


FIGURE 5 Courbe de performance des participants adultes selon qu'ils ont reçu des rétroactions (FB : ligne pleine) ou non (No FB : ligne pointillée). Une pente plus abrupte révèle une meilleure discrimination temporelle (Extrait de Droit-Volet & Izaute, 2005).

Droit-Volet et Izaute (2009) ont également démontré que l'effet des rétroactions était le même pour une autre tâche de discrimination temporelle, soit la bissection. Effectivement, la performance à la bissection était également améliorée par la présence de rétroactions. Ainsi, même si le corpus de connaissances est assez restreint en ce qui concerne le rôle de la MLT dans les tâches de comparaison, ces deux études démontrent clairement que l'acquisition de connaissances temporelles en mémoire favorise significativement la précision des jugements temporeux de comparaison.

2.1.3.3 Tâches de quantification.

Les études ayant utilisé la méthode des rétroactions avec des jugements de quantification montrent comment la MLT affecte la précision des estimations temporelles. Bien que n'ayant pas été nécessairement liées à la mémoire, il est connu depuis longtemps que des rétroactions temporelles améliorent les jugements verbaux sur le temps (Hicks & Miller, 1976) et les productions et reproductions temporelles (Fraisse, 1971). En recevant des rétroactions, les participants acquièrent de l'information critique quant à la durée de la tâche, information stockée en MLT au fil de l'expérience. Grâce à cette information, les participants deviennent meilleurs pour estimer le temps, phénomène ayant été répliqué à plusieurs reprises (Brown, 2008; Franssen & Vandierendonck, 2002; Montare, 1985, 1988). Toutefois, l'information la plus intéressante au sujet de l'implication de la MLT provient d'études ayant ajouté des rétroactions systématiquement erronées (Ryan & Fritz, 2007; Ryan, Henry, Robey, & Edwards, 2004; Ryan & Robey, 2002).

Dans leur étude, Ryan et Robey (2002) ont comparé à l'aide de trois groupes distincts l'effet de rétroactions (1) précises, (2) systématiquement trop courtes de 20 % et (3) systématiquement trop longues de 20 %. Les rétroactions erronées consistaient à majorer la performance réelle des participants. Ainsi, si un participant produisait une durée de 10 s, il recevait une rétroaction indiquant qu'il avait produit 8 s (condition courte) ou 12 s (condition longue). Les trois groupes étaient évalués avant le début des rétroactions (pré-test) et ont démontré une précision semblable. Par la suite, le bloc avec rétroactions était complété. Pendant ce bloc, les estimations temporelles se sont ajustées en concordance avec les

rétroactions : le groupe avec des rétroactions précises est devenu plus précis, alors que les groupes biaisés ont modifié leur estimation de façon cohérente avec leurs rétroactions. Autrement dit, le groupe « 20 % trop court » a allongé ses productions de 20 %, et vice-versa pour le groupe assigné à la condition longue. La Figure 6, extraite de Ryan et Robey (2002, p89), résume les résultats.

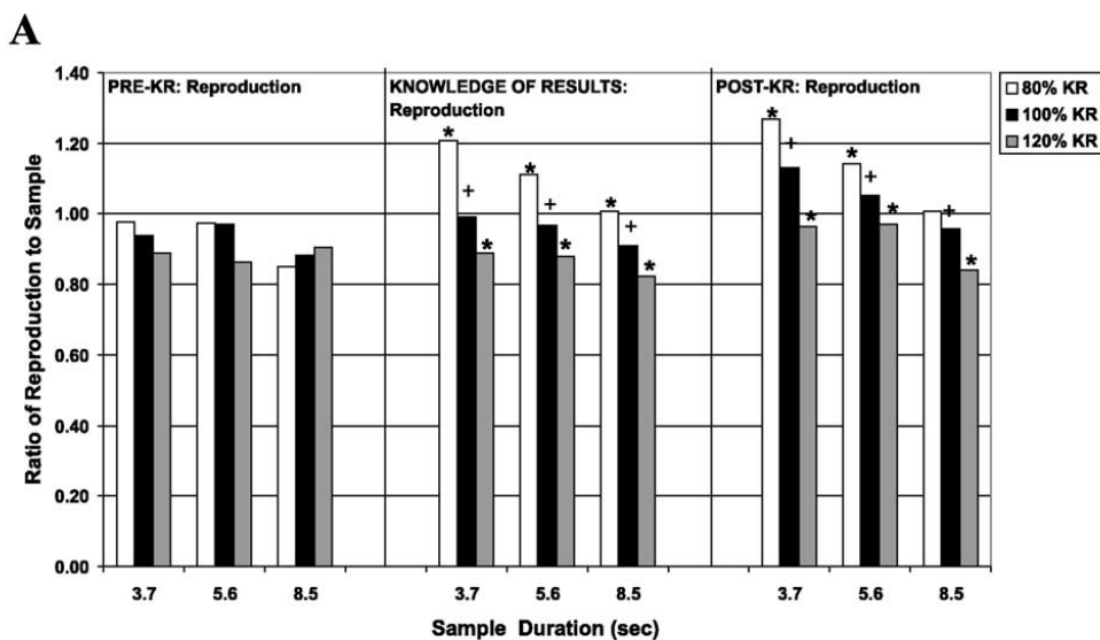


Figure 6 Reproductions temporelles selon le bloc (pré-test, entraînement, post-test), la nature des rétroactions (KR) (80%, 100% ou 120%) ainsi que les durées tests (3,7s; 5,6s; 8,5s).

Ce sont les résultats des participants une fois les rétroactions terminées qui constituent l'aspect le plus intéressant de l'étude. En effet, leurs performances ont été réévaluées juste après la phase de rétroactions (post-test). Or, bien que leur performance en pré-test démontre qu'ils étaient capables de percevoir le temps adéquatement, les groupes ayant eu des rétroactions erronées ont continué à percevoir le temps de façon biaisée. Autrement dit, cette étude démontre que l'information acquise en mémoire sur la durée lors des rétroactions, même si erronées, a préséance sur le mécanisme ayant mené à la bonne estimation du temps lors du pré-test. N'ayant aucune information en MLT, la performance en pré-test a forcément

été fondée sur un mécanisme de perception temporelle ne se basant pas sur des connaissances en MLT. Cependant, les résultats en post-test des groupes ayant reçu des rétroactions erronées démontrent clairement que ledit mécanisme employé en phase pré-test est fortement influencé par la présence de connaissances, bien qu'erronées, en MLT. Ceci suggère que cette information est utilisée à la place du mécanisme employé en pré-test. En effet, si tel n'était pas le cas, les participants lors du post-test auraient retrouvé le niveau de performance mesuré en prétest.

Ryan et Fritz (2007) ont poussé encore plus loin la démarche des rétroactions erronées en examinant le transfert des informations acquises en mémoire du temps d'une tâche à une autre (production et reproduction). En effet, dans leurs études (expérience 3), les participants avaient un bloc d'entraînement dans lequel ils recevaient des rétroactions erronées, en effectuant soit une production, soit une reproduction. Une fois la phase des rétroactions terminées, ils étaient testés sur l'autre tâche temporelle n'ayant pas été entraînée (sur la production s'ils avaient entraîné sur la reproduction, et vice-versa). Les résultats sont cruciaux pour l'étude de la mémoire reliée au temps car ils démontrent une asymétrie dans le transfert des connaissances d'une tâche à l'autre : les apprentissages se transfèrent de la reproduction à la production, mais pas l'inverse. Les deux tâches ne posent donc pas les mêmes demandes sur la mémoire du temps. En effet, l'implication dans la reproduction se produirait davantage au niveau du processus de décision, alors que l'implication dans la production se produirait davantage au niveau de la mémoire du temps.

La différence clé entre ces deux tâches est que lors d'une reproduction, la durée est présentée à chaque reprise, ce qui n'est pas le cas lors d'une production. Ainsi, selon les auteurs, lors d'une reproduction, les rétroactions erronées n'affecteraient pas la trace mnésique de la durée puisque cette dernière est renforcée à chaque essai. Les rétroactions n'auraient un effet que sur la règle décisionnelle et non pas sur la représentation mnésique de la durée. Par exemple, les participants peuvent apprendre à terminer la production systématiquement plus tôt. À l'inverse, lors de la production, les participants apprennent une durée fautive à chacun de leurs essais par le biais d'une rétroaction erronée, provoquant ainsi la création d'une trace mnésique erronée ne pouvant pas être corrigée à chaque essai par la présentation de la durée. La production serait donc plus dépendante de la mémoire temporelle

que ne l'est la reproduction. En effet, lors d'une reproduction, le standard est représenté à chaque essai, un transfert en MLT est moins probable, voir important.

Cette distinction expliquerait le transfert unidirectionnel entre les deux tâches. Si les participants exécutent la production en premier, ils apprennent une fausse durée en mémoire. Toutefois, lorsque la reproduction débute, une durée cible différente de celle apprise leur est présentée. Ils basent donc leur estimation sur cette présentation, plutôt que sur la durée apprise en production. Ceci expliquerait pourquoi il n'y a pas de transfert d'apprentissage de la production à la reproduction. Cette récente distinction théorique entre les méthodes d'estimation temporelle est cruciale pour le présent projet. En effet, cela identifie la production comme un excellent outil pour évaluer l'implication de la MLT sur la perception du temps.

2.1.4 Mécanisme explicatif : bornes inférieures et supérieures

Les trois précédentes sections montrent que la présence d'information temporelle en MLT semble être un facteur déterminant de la performance lors de l'estimation temporelle. Effectivement, deux constats s'imposent. Tout d'abord, lorsque l'information en MLT est précise, cette dernière favorise la perception temporelle en la rendant plus précise. Deuxièmement, lorsqu'erronée, cette information influence tout de même la perception temporelle et semble donc avoir préséance sur d'autres mécanismes de perception temporelle.

Ces constats sont assez importants pour l'étude du temps, démontrant un grand rôle de la MLT. Cependant, très peu d'information est connue afin d'expliquer *comment* la MLT influence la perception temporelle. À ce propos, l'étude menée par Yarmey (2000) est importante. En effet, cette dernière suggère un mécanisme par lequel il est possible d'expliquer comment la MLT favorise la perception temporelle. En effet, dans cette étude d'envergure, une estimation temporelle rétrospective a été recueillie auprès de plus de 1000 participants en situations quotidiennes. Les participants venaient à leur activité, alors qu'un assistant chronométrait la durée réelle à leur insu. Une fois leur tâche terminée, l'assistant

leur demandait d'estimer rétrospectivement combien de temps elle avait duré. L'objectif derrière cette démarche était de comparer la précision de l'estimation temporelle d'activités à durées invariables (exemple un cycle de laveuse dans un lavoir) et d'activités à durées variables (exemple un repas au restaurant). Des activités de plusieurs durées ont été sélectionnées pour ces deux catégories allant de 4 s à 80 minutes.

Les résultats montrent que les activités à durées invariables sont estimées de façon nettement plus précise. En effet, cette conclusion, d'apparence banale, suggère un important mécanisme d'action afin de comprendre *comment* les informations temporelles en mémoire permettent d'influencer la précision de l'estimation temporelle. En effet, en ayant des durées constantes, il est facile d'apprendre *l'intervalle des possibles* (durée maximale-durée minimale) des activités à durées invariables. Si un cycle de laveuse dure toujours 28 minutes, au moment d'estimer le temps de ce cycle, l'intervalle des possibles sera en mesure de guider l'estimation avec un éventail des durées possibles plus restreint. À l'opposé, une tâche à durée très variable comme aller au restaurant comporte un intervalle des possibles très vaste (exemple, de 5 min dans un restaurant rapide, à plus de 3heures dans un restaurant gastronomique). Cet intervalle ne sera donc pas très aidant au moment d'estimer le temps, ce pour quoi les activités variables seraient plus difficiles à estimer. Ainsi, la mémoire temporelle aiderait à la précision de l'estimation temporelle en fournissant de l'information afin de restreindre l'intervalle des possibles de la durée à estimer. En ayant un intervalle plus restreint, le risque d'erreur diminue, augmentant ainsi la précision de l'estimation.

Cette hypothèse est également cohérente avec un aspect qui se dégage des études employant des rétroactions. Effectivement, en présence de rétroactions, la variabilité entre les différents jugements temporels ne diminue généralement pas. Autrement dit, d'un essai à l'autre, l'écart entre les différentes estimations temporelles demeure assez constant (les jugements temporels de toutes formes sont souvent assez variables), peu importe qu'il y ait présence de rétroactions ou non. L'effet des rétroactions semble permettre à ces jugements de demeurer davantage autour de la vraie durée. Par conséquent, les jugements varient autant qu'avant la présence des rétroactions mais, en demeurant autour de la durée cible, la précision s'en trouve tout de même augmentée.

Voici un exemple pour illustrer ce phénomène. Pour une durée cible de 30 s, un participant n'ayant pas accès à des rétroactions peut produire des estimations temporelles pour une même tâche variant entre 20 s et 30 s, avec une moyenne de 25 s. Donc, pour une variabilité de 10 s (30s-20s), ce participant a un ratio⁴ de 25/30, soit 0,83. Si en présence de rétroactions, ce participant garde la même variabilité (de 10 s entre ses jugements les plus courts et les plus longs), mais cette fois centrée autour de la durée cible, il produira des estimations temporelles entre 25s et 35 s, pour une moyenne de 30s. Dans ce cas-ci, il aura un ratio de 30/30, donc 1, soit un ratio parfait. Cet exemple démontre donc que pour une même variabilité des estimations temporelles, c'est la position de la moyenne (c'est-à-dire l'écart entre la moyenne et la durée cible) qui affecte la mesure de la précision.

2.1.5 Résumé et conclusions

Avant d'aborder le sujet de la place de la mémoire temporelle dans les modèles théoriques, certaines conclusions s'imposent. Tout d'abord, cette section met en lumière l'effet de la mémoire temporelle sur la précision de l'estimation temporelle. La MLT peut à la fois aider grandement la performance lorsqu'elle contient une information exacte, mais également nuire grandement lorsqu'elle contient une information biaisée. Compte tenu de cet effet majeur, il apparaît nécessaire d'approfondir les connaissances par rapport au rôle de la mémoire temporelle dans la perception du temps.

En effet, les études citées dans cette section ne suffisent malheureusement pas à dresser un portrait complet du rôle de la mémoire temporelle, et ce, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, comme il a déjà été mentionné, la prédiction temporelle ne correspond pas à de la *perception* temporelle à proprement parler. De plus, pour être informatif, ce jugement devrait être directement comparé à une estimation temporelle effectuée *après* l'exécution de la tâche prédite, permettant ainsi de comparer directement prédiction et estimation

⁴ Le ratio est une variable dépendante très souvent employée en perception temporelle et représente une mesure de précision de l'estimation temporelle. Pour obtenir ce ratio, il faut diviser le temps perçu par le temps réel. Une valeur de 1 représente un jugement temporel parfait, une valeur supérieure à un surestimation du temps, alors qu'une valeur inférieure à un représente une sous-estimation du temps.

temporelle. Par contre, ce genre d'étude est très rare dans la littérature. Également, bien que les études ayant recours aux rétroactions erronées soient très intéressantes, elles demeurent fondées sur l'introduction d'un biais (d'une information erronée). Peut-on généraliser les conclusions de ces études fondées sur l'information biaisée à l'ensemble de la MLT? Finalement, bien que l'étude de Yarmey (2000) offre une piste explicative intéressante, elle ne contenait aucune mesure de ce qui est en mémoire temporelle et a été menée avec le paradigme rétrospectif, celui-ci ne permettant pas une mesure de la perception temporelle dans laquelle les participants ont toutes les ressources cognitives à leur disposition. Ainsi, l'hypothèse découlant de l'étude de Yarmey (soit la diminution de l'intervalle des possibles) devra être rigoureusement testée dans différentes conditions avant d'être acceptée.

2.2 Catégories de mémoire des durées

2.2.1 Importance de considérer la tâche employée

Comme il a été rapidement mentionné précédemment, certaines études suggèrent la présence de différentes sortes de mémoires temporelles selon la tâche employée. En effet, étant donné le large éventail des tâches temporelles, il serait logique de croire que la mémoire des durées peut, à l'image de la MLT, prendre plusieurs formes en fonction des besoins de la tâche et de la nature de l'information qui est traitée. Par exemple, Jones et ses collaborateurs (Jones & Wearden, 2003; Ogden & Jones, 2009) ont évalué l'effet du nombre de présentations d'une durée dans le cadre de généralisations temporelles (discrimination), ou dans le cadre de reproductions temporelles (quantification). Les durées standards étaient présentées une, trois ou cinq fois. Dans le cadre de la généralisation, augmenter le nombre de présentations n'a eu aucune influence sur la précision des jugements temporels. À l'inverse, dans le cadre de la reproduction, augmenter le nombre de présentations des standards a significativement

amélioré la performance (Ogden & Jones, 2009) suggérant une différence au niveau de la MLT selon que la tâche soit de comparaison ou de quantification⁵.

Les études de Rattat et Droit-Volet (2005b; 2007) présentées dans la section sur la trace mnésique suggèrent un délai de rétention distinct de la trace mnésique selon qu'il s'agit d'une tâche de comparaison ou une tâche de quantification. En effet, un délai de seulement 15 min entre la phase d'entraînement et la phase test affectait la performance lors de la tâche de comparaison (généralisation temporelle), alors qu'en contrepartie, la performance lors de la tâche de quantification (reproduction) s'est maintenue après un délai de 6 mois. Bref, les études de Jones et collaborateurs et celles de Rattat et Droit-Volet portent à croire que les tâches de quantification et celles de comparaison solliciteraient différentes sortes de MLT. Il existerait peut-être différentes catégories de mémoire pour la durée, comme il existe des catégories de mémoire dans le modèle des systèmes de Tulving.

2.2.2 Parallèle entre la mémoire des durées et le modèle des systèmes de Tulving

La mémoire des durées reliée aux tâches de comparaison peut être vue comme étant principalement de type épisodique. En effet, dans ce type de tâche, la durée n'est pas extraite de façon indépendante du stimulus (i.e., le son a duré 3 secondes), mais est comprise dans la représentation globale du stimulus. Ainsi, lorsqu'un participant exécute ce genre de tâche, il emmagasine en mémoire une représentation globale de l'épisode/stimulus. Pour reprendre l'exemple d'un son, la trace mnésique inclut des dimensions comme sa tonalité, sa provenance et sa durée.

À l'inverse, pour les tâches de quantification, la durée est extraite d'un événement quelconque, pour être emmagasinée en mémoire de façon indépendante (cette activité a une durée X). Par exemple, le temps requis pour se rendre au bureau : il n'est pas nécessaire de

⁵ Il est toutefois important de noter que d'autres études n'arrivent pas aux mêmes conclusions. Par exemple, Grondin (2012) a obtenu des effets causés par le nombre de présentations des durées standards à la fois avec des tâches de comparaison et de quantification. La variable dépendante employée pour mesurer la performance ainsi que la méthode (en particulier la durée) pourrait donc mener à différentes conclusions relativement au rôle de la mémoire des durées.

se rappeler la durée de chaque déplacement, une moyenne étant emmagasinée en mémoire, indépendante des différents épisodes. Puisque l'apprentissage de la durée d'une tâche précise s'effectue au fil des répétitions, l'acquisition de ce type de représentation en mémoire est sûrement plus longue que ne l'est celle pour le contenu en mémoire épisodique.

Également, puisque le modèle de Tulving propose trois types de mémoires, il est justifié de se questionner à savoir ce qu'il en est alors de la mémoire des durées procédurale? Certes, certaines informations relatives à la durée sont de forme procédurale, lorsqu'elles sont étroitement reliées à un mouvement précis (i.e., le temps requis pour s'élancer au baseball). Du moment où la composante temporelle ne peut être extraite du mouvement (par exemple, dire que l'élan au baseball dure 750ms), la composante peut être perçue comme procédurale. La mémoire des durées procédurales semble plutôt nécessaire pour effectuer les mouvements au bon moment (synchronisme moteur), plutôt que pour estimer la durée d'une activité.

2.2.3 Dissociation importante

Distinguer le type de mémoire sollicitée apparaît primordial devant les différences obtenues selon que la tâche soit de comparaison ou de quantification. En effet, en présence de mémoire épisodique des durées, il n'est pas clair si un transfert de la trace mnésique en MLT est nécessaire; il pourrait suffire de maintenir la trace en MCT. En effet, plusieurs études remettent en question l'utilisation de la MLT lors de ce type de tâche. Tout d'abord, l'étude précédemment citée d'Ogden et Jones (2008) concernant le nombre de présentations d'une durée standard est assez surprenante. Que la durée standard soit présentée une fois ou 5 fois n'a eu aucun effet sur la performance d'une tâche de comparaison temporelle. Bien que ne remettant pas en cause l'usage de la MLT –la durée étant présentée uniquement au début de la tâche, cette dernière doit obligatoirement être stockée en MLT pour réaliser la tâche– elle suggère que les multiples présentations du standard ne « s'additionnent » pas pour former une trace plus précise. À l'inverse, plus le nombre de présentations est élevé avant une tâche de quantification, plus la trace mnésique semble se préciser et guide alors l'estimation temporelle, permettant ainsi des jugements temporels plus précis.

Toutefois, la principale remise en question de l'usage de la MLT lors de tâches de comparaison provient d'études où ont été modifiées les tâches de bissection et de généralisation temporelles en tentant de rendre impossible la rétention des durées standards dans la MLT (Allan, 2002; Allan & Gerhardt, 2001; Delgado & Droit-Volet, 2007; Droit-Volet & Rattat, 2007; Grondin, 2005; Jones & Wearden, 2004; McCormack et al., 2005; Rodríguez-Gironés & Kacelnik, 1998, 2001; Wearden & Bray, 2001; Wearden & Ferrara, 1995). En effet, tel que mentionné précédemment, les tâches de bissection et de généralisations originales sollicitent la MLT : les standards sont mémorisés une seule fois au début de la tâche. Or, les explications reliées au fonctionnement de cette tâche impliquaient que les durées tests étaient comparées aux représentations mnésiques (MLT) des durées standards. Deux modifications ont été apportées aux tâches originales afin d'éliminer le recours à la MLT: soit une modification de la tâche afin que les standards ne soient maintenus qu'en MCT (et non MLT), ou encore l'élimination complète des standards.

Rodríguez-Gironés et Kacelnik (1998) ont créé une nouvelle tâche de bissection appelée « Roving » dans laquelle les standards changeaient à chaque essai. Plutôt que de présenter deux durées standards au début de la tâche (comme dans la bissection originale), ils présentaient une nouvelle paire de durées standards à chaque essai. Ainsi, puisque les standards changeaient sans arrêt, les représentations mnésiques de ces durées cibles devaient forcément être maintenues en MCT et non pas transférées en MLT. Cette méthode a par ailleurs été renommée « bissection épisodique » par d'autres (Wearden & Bray, 2001). Or, les résultats de cette variante de la bissection sont quasiment identiques à ceux de la bissection originale. Cela suggère donc qu'il n'y a aucun gain au niveau de la performance si la représentation mnésique des standards est transférée de la MCT à la MLT.

Ce constat est assez similaire pour l'autre type de modification apportée à la bissection originale, soit le retrait des durées standards. En effet, Wearden et Ferrara (1995) ont créé la tâche de partition, soit une adaptation de la bissection dans laquelle aucun standard n'est présenté. Les participants ne doivent que diviser les stimuli en deux groupes, courts ou longs. De façon assez surprenante, la performance est assez similaire entre cette tâche et la variante originale. Encore une fois, ce résultat remet en question l'utilisation de la mémoire épisodique du temps dans la résolution des tâches de comparaison temporelle.

Une des explications possibles est le faible niveau d'amélioration possible en mémoire épisodique des durées. Autrement dit, lorsque la composante de la durée est contenue de façon épisodique, des présentations multiples des durées (afin d'inscrire l'information en MLT) ne permettraient pas d'obtenir des performances supérieures à une présentation unique contenue en mémoire à court terme. Ainsi, si la tâche temporelle implique une forme de mémoire épisodique, que l'information soit maintenue en MCT ou stockée en MLT n'a que très peu d'influence sur la précision de la perception temporelle, expliquant pourquoi les variantes de la bissection obtiennent des résultats similaires.

Devant un tel constat, la mémoire sémantique du temps apparaît comme la meilleure option pour étudier l'implication de la MLT dans l'estimation temporelle. Effectivement, une étude sur les patients amnésiques suggère une certaine supériorité de la mémoire sémantique vis-à-vis de la mémoire épisodique lorsque vient le temps d'estimer le temps. En effet, l'étude de Schmitter-Edgecombe et Rueda (2008) démontre qu'une atteinte à la mémoire épisodique affecte grandement la perception temporelle (sous-estimation des durées supérieures à 30s). Par contre, lors de cette étude, les patients amnésiques venaient tout juste de subir leur traumatisme craniocérébral causant ladite amnésie. Les auteurs ont effectué une étude de suivi, un an plus tard sur la même tâche, soit estimer des durées de 10s à 60s (Anderson & Schmitter-Edgecombe, 2011, p.39). Les résultats sont assez surprenants. En effet, bien que les participants amnésiques ne démontrent aucun gain sur le plan cognitif depuis la recherche initiale, leur perception temporelle est redevenue similaire à celle des participants contrôles, comme le démontre la Figure 7.

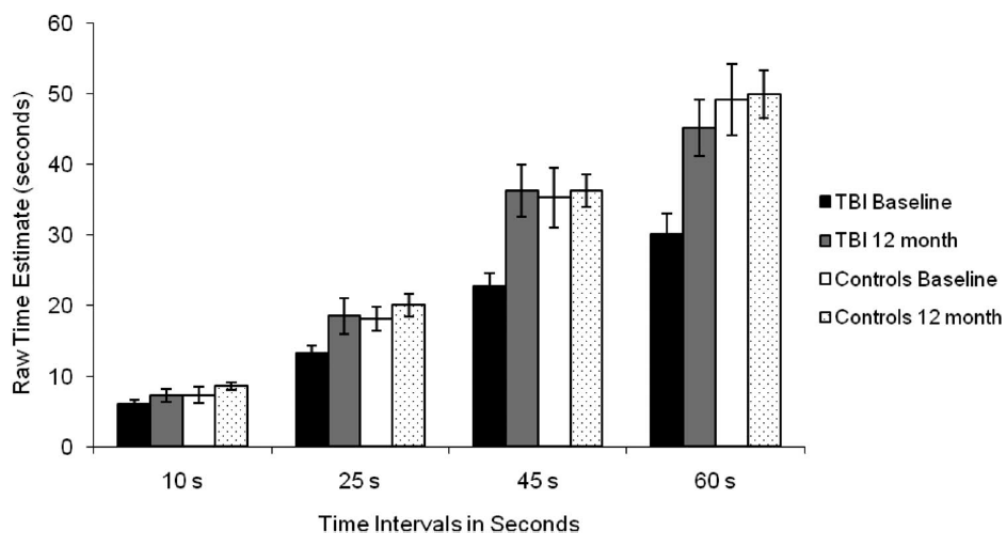


Figure 1. Mean raw scores for time intervals at baseline and 12-month follow-up for the Traumatic Brain Injury (TBI) and Control Groups.

Figure 7. Estimation temporelle (en secondes) de patients souffrant d’amnésie (TBI) et de patients contrôle selon la durée et le moment de l’estimation (après le traumatisme –baseline– ou 12 mois plus tard).

Une des raisons évoquées par les auteurs pour expliquer ce retour à la normale est une compensation de la mémoire. Autrement dit, au cours de l’année entre les deux participations à l’expérience, les participants auraient appris à ajuster leur perception temporelle pour compenser leur perte au niveau de la mémoire épisodique. Leur connaissance (sémantique) de cette faiblesse leur permettrait ainsi d’ajuster leurs estimations afin d’obtenir un niveau de précision adéquat.

2.2.4 MLT dans le cadre de la présente thèse

La section précédente démontre que le type de tâche employé en perception temporelle semble assez déterminant pour l’utilisation de la MLT. À cet égard, la MLT semble nettement plus sollicitée lors de tâches de quantification et c’est la raison pour laquelle ce type de tâches

sera retenu lors des expériences menées dans le cadre de cette thèse. Aussi, pour s'assurer d'étudier un effet qui dépend bel et bien de la MLT et non pas simplement de la MCT, la présente thèse portera spécifiquement sur l'effet de l'apprentissage de la durée d'une tâche sur la perception temporelle de cette même tâche, cet apprentissage devant avoir lieu avant la tâche à estimer, garantissant ainsi un transfert de l'information en MLT et donc, une participation de la MLT dans la perception temporelle.

Dans la section précédente, les types de mémoire de la durée en lien avec le modèle de Tulving étaient décrits. Par contre, puisqu'il ne s'agissait que d'une proposition non validée empiriquement, les termes propres au modèle de Tulving ne seront pas retenus pour les sections suivantes. Ainsi, dans le cadre des expériences menées dans la présente thèse, il sera plutôt question de Connaissance propre à la Durée d'une Tâche (TDK, ou Task Duration Knowledge).

Ce concept se définit comme suit : toute information propre à la durée d'une tâche qui est stockée en MLT. Comme discuté précédemment, cette information doit être principalement⁶ sous forme de connaissance sémantique. Par exemple, si on vous demande le temps requis pour vous rendre au bureau à partir de la maison, vous puiserez la durée moyenne en mémoire sémantique d'une façon similaire à si on vous avait demandé la date où un homme a mis les pieds sur la lune pour la première fois.

Également, la variable d'intérêt n'est pas le processus d'automatisation d'une tâche qui se produit au fil des répétitions. C'est plutôt le fait qu'au fil des répétitions d'une même tâche, la durée de cette tâche est extraite sous forme de connaissance en MLT. C'est donc l'effet de cette connaissance propre à la durée d'une tâche sur la perception temporelle de cette même tâche qui est d'intérêt dans le cadre de cette thèse.

En terme méthodologique, la connaissance propre à la durée d'une tâche peut être étudiée en évaluant l'effet d'une expérience préalable avec une tâche. Dans ce cas, au fil des

⁶ Les termes de Tulving n'ont pas été retenus pour justement ne pas laisser entendre qu'il s'agit uniquement de mémoire sémantique. La mémoire étant un processus diffus, d'autres composantes de la MLT peuvent également jouer un rôle (comme la mémoire épisodique). Par contre, il serait logique de croire qu'il s'agit principalement de la mémoire sémantique.

expériences avec la tâche, le participant a acquis de lui-même des connaissances propres à la durée de la tâche. Sinon, les connaissances propres à la durée de la tâche peuvent être directement fournies au participant, par le biais de rétroactions.

2.3 La mémoire des durées dans les modèles de perception du temps

La section suivante tentera de décrire la place de la MLT dans les modèles de la perception du temps. Aucun modèle ne dissocie les différents types de mémoire les uns des autres, et en fait, très peu concèdent un rôle central à la MLT dans la perception du temps. Il est important de noter qu'il existe beaucoup d'autres modèles explicatifs de la perception temporelle, mais ils n'impliquent pas la MLT, ils ne seront pas présentés.

2.3.1 Modèles d'Ornstein : Taille des représentations en mémoire

Un des premiers modèles cognitifs de la perception du temps, celui d'Ornstein (1969), donne un rôle central à la mémoire dans la perception du temps (Grondin, 2001). En fait, selon Ornstein, la durée perçue est directement reliée à la taille que cet événement occupe en mémoire. Plus un événement « prend de la place » en mémoire, plus la durée est perçue comme étant longue (Ornstein, 1969). Plusieurs études ont tenté de valider ce modèle mais ne parvenaient pas à expliquer convenablement les résultats obtenus. Par exemple, McClain (1983) a étudié la perception temporelle prospective et rétrospective d'une liste de mots qui devaient être traités de différentes façons (de facile à difficile). En situation rétrospective, en concordance avec le modèle d'Ornstein, l'estimation temporelle était simplement reliée au nombre de mots dans la liste et non affectée par le niveau de traitement. À l'opposé, en situation prospective, ce n'était pas le nombre de mots dans la liste qui déterminait l'estimation temporelle, mais le niveau de traitement de ces mots. Par conséquent, l'hypothèse soutenant le modèle d'Ornstein n'était pas confirmée en paradigme prospectif; la taille de la trace en mémoire n'est pas le facteur déterminant.

Plusieurs études comparant les paradigmes prospectifs et rétrospectifs ont observé des disparités dans le rôle de la mémoire selon le paradigme, suggérant que la mémoire ne semblait impliquée que dans l'estimation rétrospective du temps (Block & Reed, 1978; Hicks, et al., 1976; Predebon, 1999; Zakay, et al., 1994). Ainsi, ne s'appliquant qu'à un seul paradigme (et ce, partiellement), le modèle d'Ornstein fut éventuellement rejeté, mais demeure historiquement important ayant influencé les modèles subséquents.

2.3.2 Le modèle des changements contextuels.

Le modèle des changements contextuels (Block, 1982) provient de recherches tentant de comparer les paradigmes d'estimation prospectif et rétrospectif. En effet, les dissociations observées entre les deux paradigmes ont poussé certains auteurs à développer des modèles distincts pour chacun (Zakay, 1992a; Zakay & Block, 1997). Le modèle expliquant le paradigme rétrospectif est celui des changements contextuels. Ce dernier met l'accent sur le rôle de la mémoire dans l'estimation temporelle rétrospective.

Ce modèle, plutôt que de considérer la taille totale de la trace mnésique, considère le nombre de changements contextuels contenus par la durée à estimer. Selon cette approche, le nombre de changements contextuels offre des points de repère à la mémoire. Ainsi, lorsque le moment d'estimer le temps est venu, ces points de repère favorisent la reconstruction mnésique de l'évènement, permettant de subdiviser la durée en sous-unités. En fractionnant ainsi la durée d'un point de repère à l'autre, la reconstruction mentale est favorisée et l'estimation temporelle est plus précise et moins marquée par la tendance générale à sous-estimer le temps en situation rétrospective. En effet, les études introduisant la segmentation (fractionner la durée; i.e. en exécutant deux tâches plutôt qu'une) démontrent que plus il y a de segmentation (changements contextuels), plus la durée est perçue comme étant longue (Block, 1978, 1982, 1986; Block & Reed, 1978; Zakay, et al., 1994). Alors que le modèle d'Ornstein ne considérait que la taille « brute » de la trace mnésique (par exemple le nombre

d'items), le modèle des changements contextuels préconise donc l'élaboration de la trace mnésique afin de mieux tenir compte des résultats empiriques en situations rétrospectives

2.3.3 La théorie scalaire

La *Scalar Expectancy Theory* (SET) découle de recherches animales et de discrimination temporelle (Church & Deluty, 1977; Gibbon, 1991). Se basant sur la présence d'une horloge interne, cette dernière implique incidemment une mémoire de référence du temps. De plus, à ce jour, ce modèle est probablement le plus influent dans le domaine de la perception temporelle.

Selon la SET, la perception temporelle s'exécute sur trois niveaux (voir la Figure 8). Le premier niveau est celui de l'horloge interne. À cette étape, un pacemaker émet des pulsations à un rythme assez constant. Ces pulsations sont par la suite acheminées à un accumulateur, responsable de compter le nombre de pulsations contenues dans un intervalle donné. Au second niveau, celui des processus mnésiques, le compte total de pulsations est transmis de l'accumulateur à la mémoire de travail afin d'être comparé avec la mémoire de référence. Cette dernière contient de l'information à propos de durées importantes (comme un standard appris lors d'une tâche de généralisation temporelle). Par la suite, le résultat de cette comparaison est traité à un troisième niveau, soit celui des processus décisionnels responsables d'émettre un jugement sur la durée (Wearden, 1991, 1992; Wearden & Grindrod, 2003; Wearden & Lejeune, 2008b).

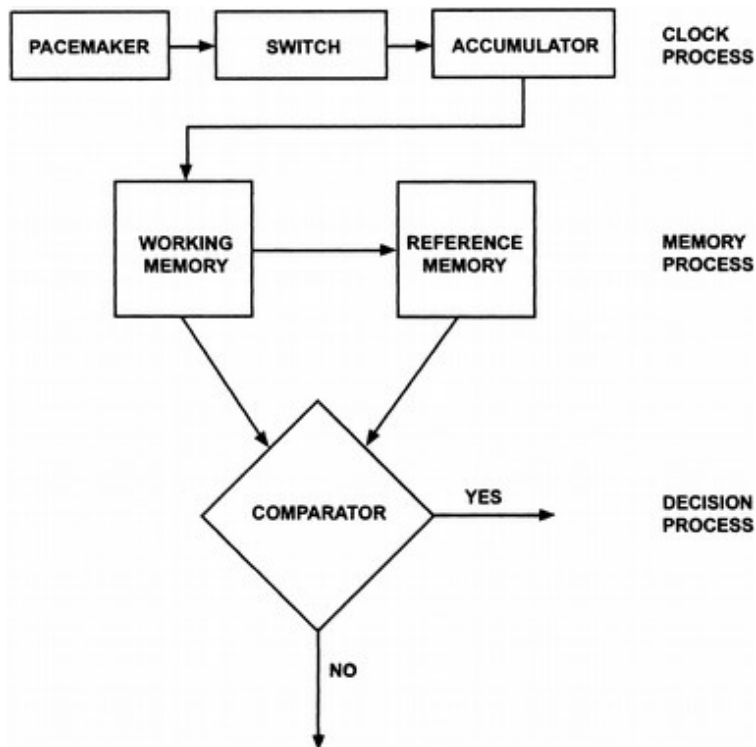


Figure 8. Représentation de la SET, selon Gibbon, Church et Meck (1984, p.54)

Selon la SET, la mémoire de référence est une banque (épisodique) des différentes occurrences d'une durée. Ainsi, chaque fois qu'une durée spécifique est présentée, elle génère une trace mnésique en mémoire de référence. Dans cette optique, bien que le nombre précis ne soit pas spécifié, la SET postule que le nombre de ces représentations est limité. Ainsi, lorsqu'une nouvelle occurrence de la durée survient, sa trace remplacerait une trace plus ancienne, assurant ainsi une certaine mise à jour de la représentation temporelle. Lorsque la durée accumulée doit être comparée à la mémoire de référence, un échantillon serait aléatoirement prélevé en mémoire de référence (il ne s'agirait donc pas de faire la moyenne de toutes les occurrences passées de la durée, mais de choisir aléatoirement une de celles-ci).

Un des points centraux de la SET est que le résultat de la comparaison serait un ratio. Autrement dit, la comparaison entre la durée accumulée (à estimer) et la durée en mémoire de référence serait proportionnelle à leur taille (donc durée à estimer/durée en mémoire de

référence). Par la suite, le ratio résultant de la comparaison durée à estimer/durée en mémoire permettrait de décider si la durée à estimer est plus courte (ratio inférieur à un), similaire (ratio égal à un) ou plus longue (ratio plus grand qu'un) (Gallistel & Gibbon, 2000).

Qu'en est-il de la SET lorsqu'il ne suffit pas de comparer deux durées mais qu'il faille plutôt émettre un jugement quantitatif sur la durée (sous forme de jugement verbal par exemple)? La SET n'offre malheureusement pas de réponse franche à cette question à l'heure actuelle. Effectivement, considérant ses origines (animales), les études de la SET se sont presque toujours limitées à des méthodes de comparaison. Effectivement, d'autres méthodes expérimentales comme la tâche de jugement verbal causent un certain problème à la SET (Wearden & Lejeune, 2008a)

Ainsi, la SET représente un très bon modèle pour les tâches simples, mais son applicabilité à des tâches temporelles plus complexes (présentes uniquement chez l'humain, par exemple) reste encore à être mise à l'épreuve. En lien avec cette critique, l'étape des processus décisionnels impliqués dans la SET demeure très floue et très peu étudiée. La présente thèse vise justement à proposer des éclaircissements à ce sujet.

2.3.4 Autres modèles et conclusions

De nombreux autres modèles tentent d'expliquer la perception du temps, mais n'accordent que très peu d'importance à la mémoire (voir Grondin, 2010). Par exemple, Meck et collègues (Matell & Meck, 2004; Matell, Meck, & Nicolelis, 2003; Meck, Penney, & Pouthas, 2008) ont récemment avancé que la perception temporelle s'expliquerait par l'oscillation de réseaux de neurones dopaminergiques des régions corticostriatal (le modèle du *Striatal-Beat Frequency*). Ces oscillations (ou battements) seraient ensuite utilisées comme unité de temps, à l'image d'une horloge interne.

Qu'importe que le modèle postule l'existence d'une horloge interne (comme la SET) ou non (comme le *Storage Size model*), qu'il soit davantage centré les processus neurobiologiques (comme le *Striatal-Beat Frequency model*), une constante demeure : la MLT y joue un rôle minime. Ainsi, une meilleure connaissance de l'implication de la MLT

dans la perception temporelle permettrait l'intégration théorique de cette composante à certains modèles.

2.4 L'interaction entre mémoire des durées et perception temporelle

Le dernier point principal de ce chapitre concerne l'interaction de la MLT avec les autres mécanismes de la perception temporelle. L'attention est reconnue comme le principal mécanisme responsable de la perception temporelle, du moins en situation de chronométrage prospectif (Block et al., 2010; Boltz, 1991; Brown, 2008). Ainsi, pour pleinement comprendre comment la mémoire du temps contribue à la perception temporelle, il est nécessaire de comprendre son interaction avec les autres processus fondamentaux comme l'attention. Par exemple, est-ce que la mémoire est employée de la même façon selon que les ressources attentionnelles allouées au temps sont faibles ou fortes? Peu d'information est disponible à ce sujet. Toutefois, avant de préciser la nature de l'interaction mémoire-attention, le rôle de l'attention dans la perception temporelle sera brièvement décrit.

2.4.1 Le rôle de l'attention dans la perception du temps

S'il y a relativement peu d'information concrète sur l'implication de la MLT sur la perception temporelle dans la littérature, il en est tout autre pour ce qui est du rôle de l'attention. En effet, l'attention est probablement le sujet le plus étudié en perception temporelle. Par exemple, dans une revue de littérature récente, Brown (2008) a dénombré pas moins de 67 expériences publiées sur le seul effet d'interférence. L'effet d'interférence est justement une manifestation claire du rôle crucial que joue l'attention dans la perception du temps. Cet effet correspond au fait qu'une diminution des ressources attentionnelles pouvant être allouées au temps *interfère* avec la perception temporelle en la rendant moins précise. Règle générale, moins il y a d'attention portée au temps, plus la durée est perçue comme étant courte.

Plusieurs méthodes permettent d'obtenir l'effet d'interférence. La principale est le paradigme de la double tâche. Dans ce paradigme, le participant doit estimer le temps (tâche

temporelle), tout en effectuant une autre tâche (non temporelle). L'ajout de la deuxième tâche non temporelle (ou concurrente) diminue les ressources attentionnelles pouvant être allouées au temps, et diminue ainsi la précision de l'estimation temporelle (Block et al., 2010). Ainsi, la performance en double tâche peut être comparée à la performance à la tâche temporelle seulement. Sinon, deux tâches de durées égales peuvent également être comparées selon leur niveau de difficulté. Dans ce cas, plus la tâche est difficile, plus elle demande de ressources attentionnelles et plus le temps sera estimé comme étant court (Block, et al., 2010; Zakay, 1992b; Zakay & Block, 1996).

Pour illustrer le rôle de l'attention de façon encore plus précise, certains chercheurs ont demandé aux participants d'allouer un pourcentage spécifique de leurs ressources à chaque tâche (par exemple 25 % à la tâche concurrente et 75 % à la tâche temporelle) (Macar, Grondin, & Casini, 1994). Ce type d'expérience témoigne d'un rôle direct de l'attention : plus il y a d'attention portée au temps, plus précise est l'estimation temporelle (Macar, et al., 1994, p676). La Figure 9 illustre bien cet effet : moins les participants allouaient d'attention à la tâche temporelle, moins bonne était leur performance temporelle.

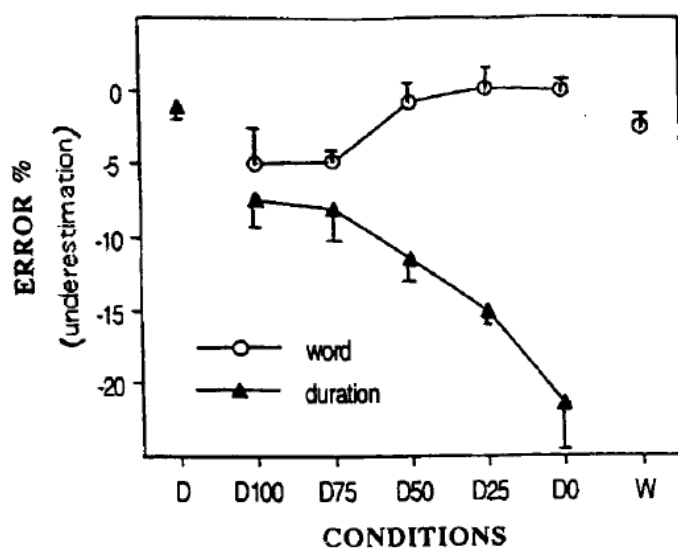


Figure 9. Pourcentage d'erreurs à la tâche temporelle (duration) et non-temporelle (word) selon le pourcentage d'attention portée à la tâche temporelle (D100= 100%, D0 = 0%) (Extrait de Macar et al., 1994)

Ainsi, dans l'optique où l'attention est considérée comme étant le mécanisme central de la perception temporelle, il est impératif d'étudier comment tout autre mécanisme soupçonné d'influencer la perception temporelle interagit avec l'attention.

2.4.2 Les données provenant des rétroactions

L'étude de Ryan et al (2004) est une des rares à combiner des rétroactions et une manipulation du niveau d'attention à porter au temps. En effet, ces derniers ont demandé à leurs participants de compter des durées allant de 3.5 à 8.5s, tout en enregistrant leur compte en enfonçant une touche de clavier à chaque unité de comptage. Une fois la tâche terminée, les participants devaient en estimer la durée. L'aspect fondamental de cette étude est que certains participants recevaient des rétroactions systématiquement biaisées à la suite de chacune de leurs estimations. Les résultats montrent que suite à ces rétroactions erronées, les participants ont modifié la vitesse à laquelle ils comptaient de sorte qu'une fois la durée terminée, le compte total soit le même. Autrement dit, si les rétroactions étaient systématiquement trop longues, les participants comptaient plus lentement pour ajuster leur compte total avec leurs rétroactions (sans altérer le nombre d'unité de comptes). De plus, les résultats de l'étude démontrent qu'en cas de discordance entre le nombre de comptes et la rétroaction, les participants favorisaient les rétroactions.

Dans une deuxième expérience, ces mêmes auteurs ont mentionné aux participants que les rétroactions seraient soit toujours précises, précises 75 % des fois, ou encore seulement précises 25 % des fois. Or, même s'ils savaient que les rétroactions seraient erronées la plupart du temps, les participants du groupe « 25 % » ont tout de même ajusté leurs estimations temporelles en fonction des rétroactions. Donc, bien que les connaissances propres à la durée fournie étaient majoritairement biaisées, les participants se sont quand même fiés à cette information plutôt que de l'ignorer et d'employer d'autres processus (comme l'attention) afin de percevoir le temps de façon plus optimale. Cela témoigne d'une inclinaison assez forte à se fier sur les connaissances propres à la durée.

Également, une étude de Franssen et Vandierendonck (2002) a mis en lumière l'effet de la mémoire en fonction de l'attention. Ils ont évalué l'effet de rétroactions temporelles (précises) dans une perspective de double tâche dans laquelle les participants devaient allouer un pourcentage d'attention précis à chacune des deux tâches (par exemple 75% tâche temporelle, 25% tâche secondaire). Plutôt que d'être proportionnel à la quantité d'attention allouée au temps, l'effet des rétroactions a été le même pour chaque condition. Les auteurs ont donc conclu que l'effet mnésique des rétroactions est indépendant de l'effet de l'attention.

Bref, les trois expériences précédemment décrites laissent présager une certaine indépendance entre deux mécanismes d'estimation temporelle : un cognitif (basé sur l'attention, tel que compter) et un mnésique, basé sur les connaissances propres à la durée de la tâche (ces études sur les rétroactions fournissaient les connaissances propres à la durée). De plus, ces expériences démontrent que ces deux mécanismes peuvent arriver à des résultats distincts et lorsque les deux processus sont sollicités dans une même tâche, l'information mnésique – même si erronée - semble avoir préséance sur l'information attentionnelle. Cette conclusion est assez bouleversante, considérant qu'aucun modèle de perception temporelle n'accorde un rôle majeur à la MLT. Au niveau théorique, cela signifie probablement que l'effet de la MLT s'explique davantage à un niveau décisionnel. Autrement dit, l'attention serait plutôt impliquée dans ce que l'on peut appeler « horloge interne », mécanisme responsable de chronométrer la durée. Le résultat de cette horloge interne serait ensuite soumis à des processus décisionnels, et c'est à cette étape que la MLT interviendrait. Il serait possible que la MLT agisse un peu comme un « pondérateur », c'est-à-dire qu'elle ajuste la perception de l'horloge interne pour cadrer avec les connaissances acquises. Ainsi, si une tâche dure normalement entre 10 et 15 minutes et que l'horloge interne perçoit que la tâche a durée 7 minutes, il est probable que la MLT pondère ce jugement pour le ramener à la balise inférieure, soit 10 minutes.

2.5 Conclusions

Ce chapitre met en lumière le rôle que semble jouer la MLT dans la perception temporelle. Certains points centraux sont importants à retenir avant de présenter la démarche de la

présente thèse. Tout d'abord, plusieurs études démontrent que la MLT contient de l'information à propos de la durée d'une tâche spécifique. À ce propos, les tâches ayant eu recours à l'EEG sont assez convaincantes et démontrent clairement la présence de connaissances propres à la durée. Non seulement cette information est-elle présente en mémoire mais elle semble favoriser grandement la performance dans de multiples tâches temporelles. En effet, la présence de rétroactions sur la performance permet aux participants de se créer une représentation en MLT (connaissances propres à la durée) plus précise de la durée à estimer. Par la suite, cette représentation favorise la précision des estimations temporelles subséquentes.

Cependant, toutes les informations temporelles en mémoire ne semblent pas identiques. En effet, la nature de la tâche temporelle (comparaison vs quantification), semble déterminante pour le type d'information qui sera stockée en MLT. Les tâches de quantification (comme une estimation verbale de la durée) solliciteraient, de par la nature de la tâche, une mémoire davantage sémantique puisque la durée est extraite de l'événement. Or, les quelques études ayant été effectuées avec ce type de mémoire suggèrent que l'information en MLT pourrait avoir préséance sur les mécanismes attentionnels de la perception temporelle. En effet, les études ayant utilisé la méthode des rétroactions erronées démontrent que les participants semblent favoriser l'information acquise (même si erronée), au détriment de leur propre capacité à estimer le temps (ou mécanismes attentionnels). Cette conclusion est très importante pour la présente thèse. En effet, alors que l'attention règne en *maître* dans la plupart des modèles explicatifs de la perception temporelle, ces études semblent démontrer que la MLT pourrait être utilisée en priorité. Cette idée est assez novatrice dans le domaine de la perception temporelle et nécessite une investigation plus poussée afin de mieux comprendre le rôle déterminant de la MLT, et plus spécifiquement celui des connaissances propres à la durée. C'est à cette fin qu'est élaborée la démarche empirique de la présente thèse.

Chapitre 3 : Orientation générale et hypothèses

3.1 Orientation générale

La discussion précédente visait à démontrer le manque d'études portant sur l'implication de la MLT en perception temporelle tout en mettant de l'avant le rôle critique que cette dernière semble jouer. Pour pallier ce manque, le présent projet a pour but de définir le rôle des connaissances propres à la durée dans la perception temporelle. Deux orientations globales sont mises de l'avant : quantifier l'effet des connaissances propres à la durée sur la perception temporelle et comprendre son mécanisme d'action et ses interactions avec les autres composantes de la perception temporelle comme l'attention.

Pour ce faire, la thèse cible des tâches de quantification temporelle de durées assez longues (de quelques secondes à quelques minutes), estimées prospectivement. En effet, la mémoire est souvent mise de côté par les modèles théoriques expliquant le paradigme prospectif. La meilleure façon de mettre de l'avant son rôle dans la perception temporelle est donc de démontrer qu'elle exerce une influence non seulement en situation rétrospective (ce qui est déjà reconnu), mais également en situation prospective.

3.2 Particularités de la méthode

3.2.1 Aspect écologique : le recours aux athlètes

Avant de détailler les hypothèses spécifiques du projet, certaines particularités de la méthode doivent être discutées. Tout d'abord, les connaissances propres à la durée correspondent à l'apprentissage de la durée d'une tâche spécifique. Il est donc logique de croire qu'une expérience préalable plus grande avec cette tâche devrait se transposer en davantage de connaissances propres à la durée. Cette caractéristique est utilisée dans le volet écologique du présent projet, par un recours à des athlètes. En effet, par leur entraînement répétitif, les athlètes acquièrent des informations quant à la durée de leurs activités sportives, en l'occurrence des connaissances propres à la durée. Les athlètes d'élite ayant, au cours de leur carrière, accumulé un nombre d'heures d'entraînement assez impressionnant, leur

participation aux expériences devrait donner accès à des connaissances propres à la durée très développées. De plus, en n'intervenant pas dans le processus d'acquisition de ces connaissances, le devis écologique permettra de démontrer que ce mécanisme est employé naturellement lors de situations de perception temporelle courantes.

3.2.2 Aspect méthodologique : paradigme de la double tâche

Afin d'étudier comment les connaissances propres à la durée interagissent avec les autres mécanismes de la perception temporelle, le paradigme de la tâche attentionnelle secondaire peut être employé. En effet, tel que mentionné précédemment, ce dernier est utilisé pour étudier l'effet d'interférence (i.e., évaluer à quel point la tâche secondaire nuit à la perception du temps). Or, il est reconnu que l'attention est le mécanisme clé lors d'estimations prospectives du temps (Brown, 2008). L'ajout de la tâche attentionnelle secondaire vient donc déranger la perception du temps, et permet ainsi d'évaluer, dans de telles circonstances, comment les connaissances propres à la durée sont employées. Cette manipulation permettra ainsi d'observer comment interagissent l'attention et les connaissances propres à la durée. L'acquisition de telles connaissances favorisera l'intégration de la MLT aux modèles théoriques de l'estimation temporelle.

3.3 Objectifs et hypothèses

3.3.1 Quantifier l'effet des connaissances propres à la durée

Le premier et principal objectif de la présente thèse est de quantifier l'effet des connaissances propres à la durée sur l'estimation temporelle. Effectivement, devant le manque d'information à propos du rôle de la MLT (plus particulièrement des connaissances propres à la durée) dans la perception temporelle, la première étape est donc de démontrer et décrire clairement son rôle actif dans la perception temporelle. Cette démonstration permettra ensuite de justifier pourquoi il est essentiel de tenir compte de cet effet dans les modèles explicatifs de la perception temporelle.

Cet objectif sera d'abord abordé d'un point de vue écologique. En effet, des athlètes seront invités à participer aux expériences, mettant ainsi à profit leur vaste expérience acquise au cours de leurs séances d'entraînement. La discussion précédente, notamment celle sur l'effet des rétroactions temporelles (voir section 2.4.2), laisse croire que les connaissances propres à la durée favorisent la précision de l'estimation temporelle. La présente thèse visera ainsi à évaluer cet effet, en comparant différents degrés de connaissances propres à la durée acquis naturellement. Ainsi, non seulement les résultats devraient permettre de mieux décrire l'effet des connaissances propres à la durée, ils devraient démontrer que ce phénomène s'opère naturellement, dans la « vie de tous les jours », d'où l'importance d'inclure cette composante dans les modèles de perception temporelle. Cet objectif sera présent dans chaque devis expérimental.

L'hypothèse relative à cet objectif est que plus il y a de connaissances propres à la durée à propos d'une tâche spécifique, plus la durée de cette dernière est estimée de façon précise. Afin de renforcer les conclusions, le présent projet tentera de valider cette hypothèse sous plusieurs angles, soit par le recours à trois types de jugement temporels : l'estimation, la prédiction et la production temporelles. De même, plusieurs barèmes de durées seront employés, allant d'environ 30 s à près de 20 minutes. Finalement, différentes activités seront testées. Tout d'abord, sur le plan écologique, cette hypothèse sera mise à l'épreuve avec de la natation et de la course à pied.

Alors que le premier et principal objectif est de quantifier l'effet des connaissances propres à la durée sur la perception temporelle, les deux autres objectifs, plus exploratoires, tenteront d'obtenir des pistes pour savoir *comment* on peut expliquer l'effet des connaissances propres à la durée.

3.3.3 L'interaction entre la MLT et l'attention

Le deuxième objectif est d'évaluer comment les connaissances propres à la durée interagissent avec les autres mécanismes de la perception temporelle, dont l'attention. Cette étape est cruciale pour l'intégration théorique des connaissances propres à la durée. En employant la procédure de la double tâche, il est possible de manipuler la quantité d'attention disponible pour estimer le temps. L'attention est souvent vue comme le mécanisme clé en

perception temporelle, ou encore comme étant le reflet de « l'horloge interne ». Ainsi, altérer le niveau d'attention attribuable au temps correspond à altérer le fonctionnement de l'horloge interne. Comment les connaissances propres à la durée sont-elles employées dans de telles circonstances? Tenter de répondre à cette question permettra de mieux comprendre la nature des interactions entre MLT et attention. Qui plus est, cet objectif s'inscrira dans une perspective écologique.

L'hypothèse reliée à cet objectif est que la mémoire peut compenser une perte d'attention causée par une double tâche. Plus précisément, l'ajout d'une tâche secondaire attentionnelle (distracteur) devrait avoir un effet inversement proportionnel à la quantité de connaissances propres à la durée pour cette tâche. Ainsi, une tâche connue devrait être très peu influencée par la tâche secondaire; la MLT pouvant compenser cette diminution des ressources. Toutefois, une tâche avec très peu de connaissances propres à la durée devrait être fortement influencée par une tâche secondaire, la mémoire ne contenant pas assez d'informations pour compenser cette diminution attentionnelle.

3.3.3 Déterminer le mécanisme d'action des connaissances propres à la durée

Finalement, le troisième objectif de la thèse consiste à déterminer comment les connaissances propres à la durée parviennent à améliorer la précision de l'estimation temporelle. En se basant sur les travaux de Yarmey (2000), le mécanisme d'action envisagé est une réduction de l'intervalle de confiance. En effet, la présence de connaissances propres à la durée à propos d'une tâche, devrait permettre de réduire l'intervalle de confiance des durées possibles pour cette tâche. Ainsi, une tâche avec de fortes connaissances pourrait voir sa durée possible contenue dans un intervalle de confiance restreint (exemple entre 16 et 17 minutes), alors qu'une autre tâche, moins connue, pourrait voir son intervalle de confiance être plus étendu (exemple entre 12 et 25 minutes). L'hypothèse reliée à cet objectif est donc qu'une diminution de l'intervalle de confiance diminuerait le risque d'erreur de l'estimation temporelle, améliorant ainsi la précision du jugement. Cette piste d'explication sera l'objet d'étude lors de la première expérience. Cette hypothèse sera évaluée avec des nageurs lors

d'une tâche d'estimation temporelle. Cette hypothèse mènera également à la suggestion d'un nouveau mécanisme, soit le pondérateur mnésique (voir section 6.4)

3.4 Expériences réalisées

Au total, quatre expériences ont été réalisées dans le cadre de cette thèse. Tout d'abord, les études ont été conçues afin de quantifier l'effet de la MLT sur différents types de jugements temporels (prédiction, estimation et production), ainsi que différentes catégories de durées (entre 30s et 20min). Ainsi, en parvenant à démontrer l'effet de la mémoire dans une vaste gamme de situations, la thèse voulait avant tout démontrer la robustesse du phénomène et ainsi répondre au premier objectif.

Également, l'ajout d'une double tâche lors de certaines expériences visait à évaluer l'interaction en la MLT et l'attention ainsi que de chercher un mécanisme pouvant expliquer l'effet des connaissances propres à la durée sur la perception temporelle.

Le Tableau 1 offre une synthèse des différentes expériences et de leurs caractéristiques : dans quel article ces expériences sont rapportées, la durée à l'étude, le jugement temporel exigé et la nature de la tâche. Ces quatre expériences sont regroupées dans deux articles distincts, présentés dans les deux chapitres qui suivent.

Tableau 1. Résumés des expériences réalisées dans le cadre de la thèse

Expérience	Durée	Jugement temporel	Tâche	Article
1	70-90s	Estimation verbale	Natation	1
2	36s	Production	Natation	1
3	36 s	Production	Visualisation	1
4	15-20 min	Prédiction et estimation	Course à pied	2

Chapitre 4 – Time perception is enhanced by task duration knowledge: Evidence from experienced swimmers

4.1 Abstract

The present study deals with the impact on temporal estimation of previous knowledge about the duration of a specific task (referred to as “task duration knowledge”). Athletes were recruited in this study because they are assumed to have high levels of task duration knowledge in their discipline. In Experiment 1, 28 elite swimmers had to estimate the time it would take to swim a given distance using two different strokes for which they had different task duration knowledge levels. The swimmers estimated duration more accurately and with less uncertainty in the high-knowledge than in the low-knowledge condition. In Experiment 2, the swimmers had to produce 36 s of swimming in various contexts that altered the retrieval of their task duration knowledge, with and without a secondary task. When swimmers could not rely on their task duration knowledge, their productions were more affected by the secondary task. In Experiment 3, the swimmers were more precise at producing time when visualising something that they knew well (swimming) rather than something that they had never experienced, which shows that physical execution is not a mandatory requirement for observing the enhancement effect resulting from task duration knowledge. These three converging experiments suggest that task duration knowledge is strongly involved in time perception.

4.2 Introduction

The past few years have seen a growing number of researchers putting forward the need to gain a better understanding of the temporal properties of memory for time. As Taatgen and van Rijn (2011) recently summarised, almost every model of timing implies a memory component. However, this component has been understudied in the last few decades, as compared to other components or properties of timing models (e.g., the role of attention in the pacemaker–counter device). Nevertheless, some studies have focused on various aspects of temporal memory for time, such as the lifespan of memory traces (Gamache & Grondin, 2010); the interference between different temporal traces (Grondin, 2005) or between other task demands and memory traces (Ogden, Wearden, & Jones, 2008); the development of temporal memory (Rattat & Droit-Volet, 2005a, b, 2007); the effect of the number of presentations of a standard duration on temporal discrimination (Jones & Wearden, 2003); the influence of pharmacological substances on temporal memory (Meck, 1983); or the electroencephalographic basis of memory traces (Ng, Tobin, & Penney, 2011).

However, most of the abovementioned studies were conducted within the framework of scalar expectancy theory (SET) and/or used temporal discrimination tasks. Indeed, most tasks executed within the SET framework simply require the comparison of two (or more) very brief durations, as is the case with temporal generalisation, in which a participant must report whether a probe duration corresponds to a learned anchor duration (Grondin, 2010). Such a methodological paradigm is primarily used in SET because it is suitable for both animal and human research (e.g., Penney, Gibbon, & Meck, 2008). However, the results of studies using temporal discrimination may not apply to other, more complex time judgements, such as the verbal estimation of time. Indeed, Wearden and Lejeune (2008) concluded that “classical timing tasks” (e.g., verbal estimation and production) usually violate the scalar property of timing. Furthermore, Matthews (2011) recently concluded that verbal estimates of time may not be suitable for study of the properties of the internal clock (as defined by SET). Thus, when looking outside the temporal discrimination paradigm, the involvement of long-term memory (LTM) in timing still appears unclear.

While discrimination tasks only require a comparison between durations, other classical tasks, such as verbal estimation, imply the quantification of duration (e.g., in time units). Thus, not only is the judgement itself different, but the nature of the memory traces it generates may also be different. Indeed, when executing a daily activity (e.g., going from home to work), humans often get feedback in time units (i.e., the trip took 12 min today). Hence, humans may gain certain knowledge about the duration of a task. In turn, when they are asked to estimate the duration of this task, such knowledge probably plays a critical role. Unfortunately, the literature does not contain much information about the exact influence of such knowledge when time is estimated. Note, however, that developmental studies have shown that children as young as four already have representations of the duration of daily activities and are able to classify orderly daily activities (such as eating a cookie or watching a movie) on the basis of duration (Friedman, 1990). Furthermore, other studies (Burt, 1992, 1993) have suggested that people use general knowledge of specific events when asked to remember how long a past event lasted. Indeed, these studies have shown that participants could reconstruct the duration of an event by using global knowledge. As an example, when asked how long a previous pregnancy lasted, the global knowledge of “a pregnancy generally lasts 9 months” can easily be used to help remember the duration properly (Pyles, Stolz, & Macfarlane, 1935). Although the work from Burt is informative, it was more concerned with remembering an event’s duration and did not actually show how such knowledge is used to actively monitor time during the task at hand.

As many daily activities are executed routinely, they are subject to the learning of their duration. Indeed, it is well known that through the repetition of an action, one generates a script about the different components of that action. The duration of that action should be part of the script (see Schank & Abelson, 1977). However, even if the presence of such knowledge appears indisputable, its exact influence on time perception is still unclear. Nonetheless, some key experiments do seem quite relevant.

4.2.1 The effect of task duration knowledge on time perception

The following section will briefly report what is currently known about the influence of task duration knowledge on time perception. We will refer to this notion—task duration knowledge—as indicating any knowledge about a task’s duration that is stored in LTM. The key element is not the familiarisation (or automatisisation) that occurs with task repetitions, but the fact that one extracts certain knowledge about the duration of the task. On the basis of Tulving’s (1985, 1986) model, such content in LTM is probably more (though not exclusively) specific to semantic memory, since the duration of a task is extracted from every occurrence of the task in the form of knowledge. Thus, if one is asked how long a specific task lasts, the knowledge (e.g., “5 min”) can probably be retrieved from semantic memory in a fashion similar to what would happen if one were asked to report one’s birth date.

Indeed, it is well known that verbal judgements about time (Hicks & Miller, 1976) and temporal production/reproduction (Fraisse, 1971) are improved with feedback. One way to account for this improvement is to posit that feedback contributes to task duration knowledge. Indeed, with repetitive feedback, participants gain critical knowledge about the duration of a task that can later be used for estimating time more efficiently. This point also suggests an important difference to put forward between temporal discrimination tasks and other classical timing tasks. Indeed, Jones and Wearden (2003) showed that varying the number of presentations of an anchor duration (one, three, or five times) did not improve temporal discrimination performance in a temporal generalisation task. However, temporal feedback quickly increases performance in quantification tasks. For instance, eight feedback trials (for each of three target durations) were enough to create a strong feedback effect for both verbal estimations and productions in Ryan and Robey’s (2002) study. Thus, the nature of a memory trace seems quite different, depending on the nature of the task, suggesting that caution should be taken when transferring findings from discrimination tasks to other quantification tasks.

One other interesting aspect of the feedback paradigm has been the addition of erroneous feedback, as this gives a strong insight into how task duration knowledge is used with regard to other timing processes. For example, Ryan and Robey (2002) conducted an

experiment on both temporal production and verbal time estimation by comparing three feedback conditions: Feedback was accurate, systematically 20 % too short, or systematically 20 % too long. During the experiment, if participants in the “long” condition were asked to produce 10-s durations and actually produced them, they were told that the durations had lasted 12 s. The durations used for the study were 3.7, 5.6, and 8.5 s. During the pretest, the three groups had similar performance levels when it came to estimating time. During the testing phase, in which feedback was presented, each group modified their time estimations in accordance with the feedback. The “accurate” group became more accurate, while the “short” and “long” groups became systematically biased. In fact, the “long” group shortened their production by 20 %, while the “short” group lengthened their estimations by the same amount. The most interesting finding came from the posttest phase, in which all three groups were tested on the same task immediately afterwards, but without any feedback. Although the two erroneous groups had been similarly accurate in the pretest, they were systematically biased during the posttest: The participants tended to overwrite their initial good timing of the task (as shown in the pretest) by using the knowledge that they had gained during the feedback phase, even if it was wrong. Since participants had no task duration knowledge for the task during the pretest part of the experiment, their pretest performance can be seen as a reflection of their usual timing mechanism operating when no knowledge was available. However, once participants had learned erroneous knowledge, they were still influenced by it when feedback was removed. This suggests that the gained knowledge was preferred to the output of the timing mechanism that had been used in pretest (otherwise, participants would have returned to their pretest level during the posttest). This conclusion is critical, as it challenges our current understanding of time perception and requires further testing.

The “timing mechanism” that we have referred to as being used in pretest was probably attention-dependent. Indeed, a large body of studies have shown that attention to time is the critical aspect of time perception (see Block, Hancock, & Zakay, 2010). Hence, if one is interested in understanding how task duration knowledge is involved in timing, studying how it interacts with attentional demands appears to be a critical avenue. Attention to time-in-passing is probably the most studied mechanism in the field of time perception (Brown, 2008). It is well known that taking attentional resources away from time monitoring

impairs time perception in prospective timing (Brown, 1997). Prospective⁷ timing happens when participants are told before the start of a duration that a time judgement will be required, as opposed to the retrospective paradigm, in which participants are told only afterwards that the elapsed duration will have to be estimated (Tobin, Bisson, & Grondin, 2010). These two paradigms are important to dissociate, as prospective timing is said to rely more heavily on attention (Block & Zakay, 1997).

Most of the studies showing this critical role of attention in prospective timing have used a dual-task experiment (with one task being temporal and the other, secondary task being non-temporal). In such situations, the addition of the secondary task removes attentional resources from time monitoring, which impairs temporal accuracy (by quite consistently shortening the perceived time). This phenomenon is referred to as the interference effect (Brown, 1997). Testing the effect of a secondary task in the presence of prior task duration knowledge should be very informative. Indeed, the results obtained with the erroneous-feedback method suggest that knowledge is primarily used, rather than the timing mechanism used during the pretest. If this conclusion is correct, the addition of a secondary task should have no (interference) effect on timing in a task for which there is high a level of task duration knowledge, while it should strongly affect a task for which no knowledge is available.

4.3 The present study

Although it seems simply logical that people would use their task duration knowledge (when it is available), current accounts of time perception do not take knowledge into consideration. Considering the putative role that task duration knowledge may play, it appears critical to address this issue. Furthermore, the reliance on task duration knowledge may prove quite relevant for many recurrent real-life timing situations, strengthening the need to investigate how this mechanism plays a role in time perception. Thus, the first goal of the following set of experiments was to assess the influence of task duration knowledge in different contexts

⁷ “prospective” may create some confusion if the use of the term judgements are expected to be made prior to the task (as in a time prediction task), which was not the case here. Prospective timing is also different from prospective memory (see Graf & Grondin, 2006, for more on prospective memory).

(different temporal judgements, duration ranges, and tasks). Indeed, showing that task duration knowledge is consistently involved in numerous tasks should help draw attention to the topic. Our study also had another, more theoretical goal: determining how task duration knowledge operates and interacts with the attentional demands caused by the addition of a secondary task.

We chose to use ecological tasks, specifically, for two reasons. One was to show that the timing mechanism operates in “real-life” situations in which people gain and retain task duration knowledge on their own. The second, and more important, reason was to have access to strong task duration knowledge—that is, knowledge gained over a long period of time through extensive athletic training. Indeed, even though the erroneous-feedback paradigm is informative, the amount of knowledge that could be expected to be gained with feedback remains rather limited, when compared with an athlete’s knowledge. Furthermore, with the use of feedback, some confusion may arise regarding the source of the change that it does initiate. Feedback may produce a change only in the response rule (for instance, to shorten the time production), rather than in the learning of true knowledge about the durations that are presented. Thus the participation of athletes seemed a very good way to assess the role of prior knowledge as they already gained the knowledge (and not a decision rule) before the experiment.

4. 4 Experiment 1

The first experiment targeted time estimation of long intervals (65–90 s) of swimming. Two main hypotheses were posited in this experiment. Firstly, higher levels of task duration knowledge should lead to more accurate time perception. Secondly, on the basis of Ryan and Robey’s (2002) erroneous-feedback conclusions, a task involving higher knowledge levels should be less sensitive to the effect of a secondary task than would a task involving lower knowledge levels.

In the present experiment, we assumed that tasks involving intensive training would produce very high task duration knowledge. Over the years, elite swimmers such as the ones

who participated in the experiment have trained to a level that could never be reproduced for experimental purposes in a laboratory. For example, a swimmer who has competed for 10 years (and trained around 20 h per week) will have completed about 750,000 pool lengths, with about 12,000,000 arm strokes, and will thus have accumulated thousands of temporal representations of the distance to be covered. In addition, swimming was chosen not only for its high training level, but also because competitive swimming involves four different strokes: butterfly, backstroke, breaststroke, and freestyle. Each swimmer specialises in one of these four strokes and tends to be weaker in one of them. The best stroke is usually a product of more training, and the weaker one a product of less. Therefore, the best stroke should produce a higher knowledge level than the weaker stroke, thereby allowing for the comparison of two different knowledge levels. Furthermore, even though one stroke is weaker, it remains an activity that is highly automatically executed. Therefore, both the best and the weakest strokes are executed automatically, with the result that the same attentional level is required for each one.

4.4.1 Method

Participants

A group of 28 swimmers (18 male, 10 female) from the Laval University Varsity Swim Team were recruited. They ranged from strong provincial level to international level and were 18 to 23 years of age.

Material

No specific material was used by the swimmers; they were instructed to approach the experiment as if they were doing a routine training session. Therefore, they all wore their usual training suits and accessories (goggles and swim cap). The university pool was set up as an eight-lane, 25-m pool; the deep side was used for the experiment, and the water temperature was 28 °C/82 °F. The pool's pace clocks were turned off throughout the

experiment. An in-house questionnaire in paper form was used to test the swimmers' knowledge about time (while swimming) and their experience as competitive athletes.

Procedure

The swimmers were first instructed to fill out the questionnaire and were then given a free in-pool, 15-min warm-up session in which they were instructed to prepare as if they were going to compete. Following the warm-up, the swimmers were informed that they would have to estimate the time (prospective paradigm) that it would take them to complete each of four 100-m swims, executed in random order. Two of the 100-m swims were executed using their best stroke, while the other two were executed using their weakest stroke. In each case, the swimmers did the 100-m distance twice, once with an additional attentional demand in which they had to find words rhyming with a specific word (i.e., rhymes with “on,” like “lion”).⁸ To ensure that the swimmers judged time as quickly as they could and had sufficient rest, they had to get out of the water after each swim to give their time judgements. They wrote their estimated time, as well as the minimum and maximum estimated time values (referred to as the range interval, or RI) on a piece of paper. The actual durations of the 100-m swim ranged from 66 to 112 s, with a mean of 83 s.

To ensure that the best/worst stroke manipulation achieved the expected goals, the swimmers had to quantify (on the paper form) the percentage of time they spent training with each stroke. On average, the swimmers claimed they trained 51.5 % of the time with their best stroke and 6.3 % of the time with their weaker one. To ensure that this difference translated into distinct task duration knowledge levels, the swimmers were asked how well they knew their training time for each stroke (from 1 to 5, with 5 being very well) and how confident they were about estimating their training time for each one. On average, they responded 3.92 and 3.50, respectively, for the best stroke and 1.92 and 2.21, respectively, for the weakest stroke. Paired-sample t tests revealed that the strokes differed statistically with respect to knowledge of training time, $t(27) = 11.72$, $p < .01$, and confidence in that knowledge $t(27) = 8.39$, $p < .01$. Therefore, different levels of task duration knowledge were

⁸ The experiment was conducted in French.

associated with the two strokes, with better knowledge about duration being associated with the best stroke.

4.4.2 Results and discussion

Two dependent variables were used to measure the influence of these LTM knowledge levels on the accuracy of time estimation. The first one was the perceived-to-real time ratio (hereafter, simply the “ratio”). This variable is an indicator of estimation accuracy. Ratios of 1 indicate perfect estimations, whereas ratios below and above 1 represent underestimations and overestimations, respectively. The second measure was the absolute standardised error (ASE)—that is, the absolute value of the percentage of error. The values for these two variables in each experimental condition are reported in Table 1.

The first observation to be made about this experiment is that the swimmers were astonishingly accurate. Ratios so close to 1, as is the case here, are quite rare in the time perception literature. Hence, this impressive precision is a demonstration of the temporal expertise shown by athletes. It is important to keep in mind that, although swim time durations in competition are consistent (see Stewart & Hopkins, 2000), the time that it takes to swim 100 m in training is variable (e.g., for a 100-m freestyle, it can range from 55 to 85 s, depending on factors such as intensity and fatigue level). Thus, to perform this task, a unique duration could not be learned and simply retrieved. In these circumstances, ratios this close to 1 are quite impressive. As a basis of comparison, Yarmey’s (2000) study had a condition with a similar mean duration of 1 min 15 s for a daily activity (using an ATM). Although the participants estimated time retrospectively in his study, the recorded time ratios were far from what we observed, with a mean of 1.28.

A 2 (stroke) \times 2 (secondary task) within-subjects ANOVA was conducted on the ratio variable. Only the stroke effect was significant, $F(1, 26) = 25.74$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .495$: The swimmers estimated time more accurately with their best stroke than with their worst one. The same ANOVA design, applied to the ASE, also revealed a significant stroke effect, $F(1, 24) = 10.46$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .304$, with the swimmers making fewer errors when estimating swimming time with their best stroke. This confirms the hypothesis about the effect of task duration knowledge: Higher knowledge levels were associated with significantly more

precise time estimations. Not only were the time ratios closer to 1 with the best stroke, but the percentage of errors (ASE) in this condition was significantly smaller. Indeed, not only was the difference between the stroke conditions minimal (the ratio was only 0.037 away from 1 with the weaker stroke), but the inter-individual variability was very low.

As for the hypothesis regarding the potentially stronger effect of attention with lower knowledge levels, none of the results were statistically significant. Two main aspects of the design may account for these non-significant results. Firstly, the secondary task (finding rhymes) may not have been sufficiently demanding to produce an effect (an issue that would be addressed in Experiment 2). Secondly, and more plausibly, the weak stroke was still too well trained, and thus provided sufficient knowledge levels to be unaffected by the secondary task. The second experiment was designed in part to address these issues.

The results for RI are also reported in Table 1. The same within-subjects ANOVA was conducted and, once more, only the Stroke factor was significant, indicating that the swimmers needed narrower RIs with their best stroke, $F(1, 25)=7.24$, $p=.013$, $\eta_p^2=.225$. These results are very interesting. Indeed, as we highlighted in the introduction, and as shown by the ratio and ASE results, it is now becoming clear that task duration knowledge improves performance accuracy in time perception tasks. However, no explanation has been offered as to exactly how it helps. The smaller RI could be a promising answer and an important theoretical contribution. Indeed, task duration knowledge might help estimate time by providing minimum and maximum time references. Later on, this duration range can be used to narrow the possible duration of the task down to somewhere between the minimum and maximum values, thus diminishing the probability of giving inaccurate time estimations. This hypothesis is in line with Yarmey's (2000) conclusions showing that invariable activities are estimated more precisely than variable (in terms of duration) activities. Indeed, as an activity's duration is consistent across times, it is easier to remember its duration, and thus to build a narrower RI around its consistent mean duration. This narrower RI facilitates time judgements, as the range of possible durations is narrowed. This idea is also coherent with one common finding observed with the feedback paradigm: Feedback does not reduce intra-subject variability in time judgements, but rather centers these judgements on the true

durations (Ryan & Robey, 2002). Hence, task duration knowledge appears to help time perception by providing markers of what the real duration may be.

One of the immediate drawbacks of the experiment's design is that it involved the comparison of unequally trained tasks. Practice on a non-temporal task has been shown to reduce the amount of attention that it requires, hence increasing time perception accuracy (the attenuation effect; see Brown & Bennett, 2002). Thus, the best stroke may have involved more precise perceived duration because it was more intensively trained and required less attention. Although logical, this explanation is quite improbable. First of all, as indicated earlier, both strokes, even the weaker one, were very well trained. The reported 6.3 % of training with the weaker stroke represents 765,000 arm strokes in a career. With this amount of training, it is most likely that the task was highly automatic (an idea shared by the swimmers) and did not require more attention to execute than the stronger stroke. The second experiment aimed at reproducing some of the previous findings with another time perception task (production). Also, it aimed at assessing the effect of a more demanding secondary task while addressing one of the first experiment's weaknesses (unequal training levels).

4.5 Experiment 2

For the purposes of this experiment, it was hypothesised that task duration knowledge should be context-dependent. For instance, a person could have high levels of knowledge about the travel from home to work; however, this knowledge is unlikely to be helpful if the person drives the same distance, but to a new location. This feature was used in this experiment with swimmers who were asked to produce certain durations of freestyle swimming in three retrieval contexts: regular, altered, and void. It was expected that swimmers would most likely use their knowledge about their speed and travelled distance to help them estimate time. Hence, these two parameters—speed and distance— were the ones altered in the experimental procedure. In the altered context, swimmers wore a piece of equipment to slow them down. Speed and distance information were still available, but it was not possible to swim at the usual, well known speed. In the void context, swimmers were tied to the starting block by a stretch cord so that they couldn't use any information regarding their own

movement. As a result, the swimmers in the regular context had full access to task duration knowledge; in the altered context, their task duration knowledge could be used, but with less accuracy; and in the void context, the same knowledge could not be used at all. However, from a technical standpoint, they all executed the same task: swimming freestyle for a targeted duration.

Two main hypotheses were posited. Firstly, given the results of Experiment 1, in the absence of secondary task, a higher level of task duration knowledge should lead to more accurate time judgements. Secondly, and most importantly, the more that the context is altered, the less knowledge can be used, and consequently, the more the addition of a secondary task should impair time production performance

4.5.1 Method

Participants

A group of 26 elite swimmers (18 male, 8 female) from the Laval University Varsity Swim Team participated. Their expertise ranged from strong provincial to international level. They were 18 to 23 years old, and 19 of them had taken part in the first experiment.

Material

The swimmers swam with their own usual training attire (swim cap, suit, and goggles). Two swimming training devices were used for the experiment. The first one, a commonly used swim training device, is called a “parachute.” It is a small piece of fabric (about one foot square) tied to a rope and belt around the swimmer’s waist. It drags behind the swimmer, with the sole purpose of slowing him or her down. It does not interfere with the execution of movements. The second piece of equipment is a rubber stretch cord that is attached on one end to the swimmer’s waist, and on the other at the pool starting block. A typical stretch cord usually allows strong swimmers to swim against resistance across the pool’s 25-m length, but the one used in the experiment was shorter, to ensure that swimmers would not be able to move forward. The swimming pool was set up as an eight-lane, 25-m pool; the deep side was used, with a water temperature of 28 °C/82 °F.

Procedure

Swimmers had to produce six times 36 s of swimming. These six productions were divided in three contexts: swimming normally (regular context), swimming with the parachute (altered context), and swimming tied to the wall by the stretch cord (void context). The duration production task was completed twice in each context condition, once normally and once in an attention-sharing condition in which a secondary task had to be completed during the swimming period. This secondary task consisted of counting backwards by a multiple (chosen randomly from the numbers 2 to 5) from a starting point (chosen randomly from 400, 500, 600, 700, 800, and 900). This task was chosen because it was expected to be more demanding than the rhyme task used in Experiment 1. All six productions were executed in a random order. The swimmers were instructed to instantly stop swimming when they thought that they had reached the 36-s target, wherever they were in the pool. At that moment, the time was stopped by the experimenter. After the production, the swimmers swam back to the starting end of the pool and had a rest period lasting between 30 and 60 s before the next trial (a sufficient rest for athletes at this level to avoid any fatigue effect).

4.5.2 Results and discussion

Ratio was selected as the dependent variable as it shows the direction of the error (over- or underestimation). Indeed, since the interference effect consistently affects temporal perception in the same direction (i.e., lengthening the durations produced), a directional measure appeared appropriate.⁹ The mean values in each experimental condition are reported in Fig. 1. A 2 (attention)×3 (context) within-subjects design ANOVA was completed on the ratio. The context effect was the only significant main effect, $F(2, 20) = 18.393$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .402$, but it interacted significantly with the attention effect, $F(2, 20) = 6.432$, $p = .006$, $\eta_p^2 = .648$. Pairwise post hoc analyses revealed a significant effect of attention only in the void context: $t(21) = 3.048$, $p = .006$ (Cohen's $d = 0.987$). As well, in the absence of a secondary

⁹ The analyses were also executed on the ASE. However, since the results were similar to those based on the ratio, it was decided not to report them.

task, the only significant pairwise comparison was between the normal and modified contexts. In contrast, in the presence of the secondary task, all three contexts differ significantly from each other: The more modified the context was, the more inaccurate the production.

In the absence of the secondary task, the results partially confirmed the hypothesis. It was expected that the less altered the context, the better the production would be. The normal context was indeed the most precise, but it was not significantly better than the void context. Although surprising, this finding rules out the possibility that the difference observed with the secondary task could simply be explained by the novelty of the modified contexts, as there was no difference between these two context conditions without the secondary task.

Indeed, the impact of the secondary task differed in the various contexts, as was expected. Counting backward is a mentally demanding task often used as a secondary task (i.e., Prinz & Nattkemper, 1986; Sturman et al., 2007; Sturnieks et al. 2008). Although very demanding, it produced no interference effect in the regular and altered contexts. In contrast, the void context was strongly affected by the addition of the secondary task, as the ratio increased by 12 %. This differential effect of the secondary task based on knowledge levels strongly suggests a reliance on two distinct strategies. In other words, two distinct strategies might be at play: On the one hand, in the regular and altered contexts, swimmers relied on their task duration knowledge and tried to interpret contextual cues in accord with this knowledge. On the other, as they could not rely on task duration knowledge in the void context, swimmers decided to rely on chronometric counting, a strategy that proved to be effective, as they were as accurate as in the normal context (indeed, after completion of the experiment, many swimmers reported having used chronometric counting to help them perceive time adequately in the void context, explaining why their accuracy levels were similar to those in the normal context).

When swimmers relied on their task duration knowledge instead of on an attention-based strategy, they were not affected by the loss of attention to time caused by the secondary task. However, the secondary task strongly interfered with the timing strategy used in the void context. Indeed, as the secondary task forbids cognitive counting, swimmers were left with few attentional resources to perceive time adequately. Hence, the secondary task only

produced an effect in the void context as that was the only context in which swimmers relied heavily on attention-based timing mechanisms. Somewhat along the same lines, Ryan and colleagues (Ryan et al. 2004) studied the effect of erroneous accuracy feedback when participants were instructed to use chronometric counting (and actual counts were recorded via key presses). The results of the study showed that, when the strategies conflicted, participants relied on the information provided by the feedback rather than on their own counting. Furthermore, the counts recorded showed that participants had the same total of counts but modified the intercount interval to adjust for what was learned through feedback. Thus, that experiment also showed a dissociation between two timing sources, one memory-based and one attention-based, and suggests that memory-based information is used in priority over the cognitive timing strategy.

4.6 Experiment 3

The second experiment raised questions about the use of environmental cues. Indeed, one could argue that the effect obtained in Experiment 2 was only caused by the fact that the environmental context was poorer (i.e., contained fewer environmental cues, such as travelled distance and speed). This alternate explanation appears unlikely, as the normal and void contexts were perceived similarly in the absence of the secondary task. Thus, the addition of the secondary task proved to be the important factor, and not the richness of the context. Nonetheless, our next experiment was added in an attempt to evaluate the putative role of environmental cues—that is, how much the effect of task duration knowledge depends on the presence of contextual cues.

Swimmers were once again recruited and produced two visualisations of the same target duration from the second experiment (36 s). They simply had to visualise something they knew very well (swimming) and something they had never experienced (climbing Mount Everest). The key issue assessed here was whether swimmers can use their knowledge about swimming to help them perceive time, but without executing the movement. Thus, can they use that knowledge in the absence of any physical and environmental cues? It was expected that swimmers would be more accurate at visualising themselves swimming than

climbing, thus showing that they can use their knowledge without any environmental cues. Such a finding would strengthen the claim of Experiment 2 by showing that the effect is not only dependent on environmental cues.

Furthermore, the use of the same target duration as in the second experiment allowed for a comparison between the physical and imagery variants of the same task (swimming). In that regard, it was expected that the physical execution (recorded in Experiment 2) would be more accurate than its visualised counterpart.

4.6.1 Method

Participants.

A group of 16 Laval varsity swimmers (12 male, 4 female) from 18 to 24 years of age participated in this experiment. They also ranged from strong provincial to international level. Six of them had participated in one of either Experiment 1 or 2.

Material

The time was recorded with a Sanyo manual chronometer. A thin floor mat (yoga mat) was used for swimmers to lie on during the experiment.

Procedure

The participants were recruited prior to their training session. The experiment was conducted in a closed room adjacent to the swimming pool. The swimmers were instructed to lie on the floor mat with their hands on their chest. They were then instructed to visualise themselves for a 36-s target duration while they were (1) swimming in the university pool and (2) climbing Mount Everest. The two visualisation conditions were executed in a random order. The swimmers held the chronometer, face down, in their dominant hand and pressed the start/stop button themselves. A research assistant then recorded the visualised duration and reset the chronometer (the swimmers were not aware of their first performance before

starting the second visualisation). Swimmers were instructed not to count mentally, only to visualise. They were also asked to keep their eyes closed.

4.6.2 Results and discussion

Ratios and ASEs were again calculated for the two produced durations. The results can be found in Table 2. Firstly, the ASE variable showed that swimmers were more precise (a smaller percentage of error) when asked to visualise themselves swimming than when visualising something they had never done. A dependent-samples t test was conducted and revealed that this difference was statistically significant, $t(16) = 2.69$, $p = .018$ (Cohen's $d = 0.56$). However, this difference did not translate into different ratios, as the values of this dependent variable were very similar for the two visualised tasks and did not differ statistically (dependentsamples t test, $t(16) = 0.11$, $p = .914$). Thus, although swimmers were more erratic when visualising themselves climbing, their errors were not consistently toward under- or overestimation, thus explaining why the two tasks failed to differ on the ratio variable (under- and overestimations added up to a centered mean).

These results show that having task duration knowledge not only helps time perception while doing the task (as was shown in Experiments 1 and 2), it also helps perceiving time while visualising this activity; executing the movement is not mandatory for using the knowledge to enhance time perception. Indeed, when visualising, swimmers had no access to any external cues. Still, they were better (smaller ASE) at perceiving the time of something that they knew and had duration knowledge about (swimming) than at perceiving time on the basis of a motor task that they had never experienced (climbing). Thus, we can conclude that the performance-enhancing effect recorded in Experiments 1 and 2 was not caused only by the external cues related to their movement in the pool; the same kind of effect was obtained here without any physical movement.

The fact that this experiment used the same duration as in Experiment 2 also allowed for a comparison between physical execution and mental imagery. Thus, an independent-sample t test was conducted on the ASEs of the swimming visualisation and swimming in

the normal context (without the secondary task). It shows that the produced time was significantly more precise when swimming the actual duration ($M = 7.10\%$) than when visualising it ($M = 12.51\%$), $t(23) = 2.488$, $p = .020$ (Cohen's $d = 0.83$). Thus, this experiment showed that time perception is better when visualising something known rather than something unknown, but it is still better to physically execute the action. One of the obvious reasons why the physical execution would be better than the visualisation is the presence of environmental cues. Indeed, when in the pool, swimmers get measures of their speed and movement that they cannot get while visualising. Although these environmental cues help time perception, they are not mandatory for seeing an effect of task duration knowledge, as swimmers were still better at visualising themselves swimming rather than climbing.

Also, while the main goal of this experiment was to assess the effect of environmental cues, the finding that visualising a well-known task helps time perception is quite interesting on its own. While many studies have compared the physical execution and visualisation of the same task (see Guillot & Collet, 2005), fewer studies have compared the visualisations of a familiar and a less familiar task. However, Decety, Jeannerod, and Prablanc (1989) found that participants were accurate when asked to visualise themselves walking a certain distance, but were less accurate when a novel requirement was added to the task (visualising walking the same distance while carrying a 25-kg weight on their shoulder). Thus, the familiarity of the visualised task plays a major role in its timing accuracy, be it the same task with different requirements (Decety et al., 1989) or two different (novel or well-known) tasks (Experiment 3).

Furthermore, in their review, Guillot and Collet (2005) concluded that mental imagery of a cyclic activity (like walking or swimming) was more accurately timed. Thus, the visualisation of repetitive movements (in this case, each swimming stroke) could serve as a way to segment the duration into smaller, more manageable time units. Indeed, there is consensus that chronometric counting helps perceiving time by segmenting the total interval into smaller time units (i.e., seconds; Grondin, Meilleur-Wells, & Lachance, 1999; Grondin, Ouellet, & Roussel, 2004). Thus, visualisation could be a similar way to improve time perception. Hence, in other timing tasks (unfamiliar tasks or tasks in which chronometric counting is forbidden), participants could be invited to visualise something that they know

very well in order to help their timing performance. Thus, visualisation could prove a very effective way to enhance temporal performance in many situations in which timekeeping is required.

Finally, this experiment also raises a few fundamental questions. For instance, if knowledge can be extracted from movement, should this knowledge be self-related? As an example, if someone is told the average duration of a movement (instead of having experienced this movement), will she or he use that knowledge in order to make more precise time judgements? Studies on time prediction suggest that this does happen. Indeed, by providing participants with an averaged duration of the task from previous participants, Roy, Mitten, and Christenfeld (2008) showed that having generic knowledge (i.e., not learned through personal experience) was sufficient to improve time prediction. Thus, the same pattern may apply to a time estimation or production task.

4.7 General Discussion

4.7.1 The influence of task duration knowledge on time perception

The first goal of this set of experiments was to assess the influence of task duration knowledge on perceived duration. In that regard, the three experiments produced a coherent set of findings showing the influence of task duration knowledge on different tasks (time estimation and production) and durations (from 36 s to around 90 s). These converging conclusions strongly support the influence of task duration knowledge in timing.

Many studies have shown that giving performance feedback improves time perception accuracy. Indeed, feedback provides knowledge about the duration of the task, and this knowledge can later be used when participants are asked to estimate the duration of this particular task. This conclusion about the influence of knowledge can be drawn from various durations and various temporal tasks, such as verbal estimates (e.g., Hicks & Miller, 1976), production and reproduction (e.g., Fraisse, 1971), and temporal discrimination (e.g., Droit-Volet & Izaute, 2005). Our conclusion is quite similar to the one reported in these experiments, with the critical difference that we did not use feedback. Indeed, our participants

had learned on their own the duration of the time that it takes them to swim a specific distance. Even so, we also observed the influence of knowledge on time perception in different tasks and durations. Thus, it now appears clear that task duration knowledge (whether gained naturally, through extensive training, or artificially, through feedback) serves to improve time perception performance up to an impressive level.

While it is clear that such knowledge improves time perception, less is known about how long that information stays in memory. A study by Rattat and Droit-Volet (2007) suggested that the retention delay is quite long. Indeed, they trained children to produce 5-s durations. Their participants were tested after a number of delays between the initial learning phase and the later test phase. Hence, the researchers found that even after a 6-month delay, children only 5 years old were still better than baseline (their performance level before the training session). To our knowledge, similar studies with adults and/or with longer delays are yet to be done. However, the previous experiment suggests that the retention delay is very long.

4.7.2 Attention and memory

In order to integrate the notion of task duration knowledge with other pieces of information available in the timing literature, in the present article we questioned the relation between attention and task duration knowledge. For that purpose, the relative interference effect of a secondary task on different task duration knowledge levels was studied in both Experiments 1 and 2. Experiment 2 gave a critical insight into this topic. Indeed, the addition of a secondary task usually causes an interference effect—that is, a decrease in time perception performance (Block et al., 2010). However, when participants had access to their task duration knowledge in Experiment 2, the secondary task produced no interference effect, as their time production accuracy remained the same.

Although the interference effect is very robust, situations in which it has been smaller or absent (as observed here) have been detailed in the literature, and this is referred to as the attenuation effect—that is, the interference effect is attenuated (see Brown, 2008). For

instance, by giving participants practice on the distractor task, Brown and colleagues (Brown, 1998; Brown & Bennett, 2002) obtained a reduction in the interference effect. More recently, Brown (2008) also observed an attenuation effect by giving participants some practice, but on a timing task, a design somewhat similar to the one we used in Experiment 2. Indeed, he compared the performance of participants in a dual-task situation, with one group having prior practice on the timing task with accuracy feedback, while the other group had the same practice without feedback. Participants who received feedback were less influenced by the secondary task, thus showing an attenuation effect. This finding is quite similar to the one obtained in our Experiment 2, with a few, key experimental differences. Indeed, as opposed to Brown (2008), participants in our design had gained their knowledge about the task naturally (without feedback) and were tested with a within-subjects design.

The classical attenuation effect (practice on the distractor) is generally explained by means of attentional processes. Indeed, as the participants are trained on the distractor task, its execution becomes automatized, and thus requires less attention, allowing more attention to be devoted to time. As for the attenuation effect obtained in our design (as well as the one obtained by Brown, 2008), we argue that it is better explained by memory processes (task duration knowledge). Indeed, our within-subjects design compared the same task (swimming freestyle), and the manipulation was only to impair proper retrieval of task duration knowledge. Thus, from the execution standpoint, the three contexts required roughly the same level of attention. The same comment applies to Brown's (2008) experiment, since all participants had the same training level, although one group had feedback. Thus, we claim that the reliance on specific task duration knowledge, whether gained naturally (Experiment 2) or through feedback (Brown, 2008), explains the attenuation effect in these two experiments. What can be concluded from Brown's and our results is that in the presence of sufficient task duration knowledge, this knowledge can compensate for a decrease of attentiveness to time and can either rule out or attenuate the robust interference effect.

On a more theoretical note, the interaction recorded between attention and task duration knowledge is informative. The addition of a secondary task caused an effect only when no knowledge was available; time perception was not impaired when the same knowledge was available. Such an interaction is usually theoretically interpreted as a sign

that two distinct mechanisms are at play. In other words, this finding suggests the presence of two distinct timing mechanisms, one knowledge-based and the other attention-based.

The attention-based mechanism is already well-known and has been described in the literature. Indeed, models like scalar expectancy theory (Gibbon, 1991; Wearden, Denovan, & Haworth, 1997) or the attentional gate (Zakay & Block, 1997, 2004) represent conceptualisations of a timing mechanism mainly based on attention that would operate in situations in which no knowledge is available (as in the void context of Experiment 2). However, the present results suggest that task duration knowledge can be responsible for a distinct timing mechanism that is unaffected (to certain level) by attentional demands. This idea is also in line with Franssen and Vandierendonck's (2002) conclusion that the effect of performance feedback is independent of attention. Indeed, they gave participants performance feedback in a dual-task condition in which the amount of attention to time that was allowed varied. Whether participants could allow all or just a few of their attentional resources to time did not interfere with the effect of feedback (the participants were more accurate with it). Thus, since the effect of feedback was constant across all attention levels (and not proportional to the amount of attention allowed to time), Franssen and Vandierendonck concluded that feedback was not simply a way to direct attention to time, but rather consisted of a distinct memory-related mechanism. Thus, acknowledging the presence of a knowledge or memory-based mechanism is a significant step towards a better understanding of the role of LTM in timing.

However, it also raises the challenge of determining how these two mechanisms interact. Indeed, the previous discussion may suggest that the two mechanisms are competing. However, they must probably be seen as two collaborating mechanisms trying to achieve the best result. Thus, to optimise the role of each mechanism, the interaction might occur in many different ways, depending on the situation involved and on the amount of task duration knowledge available. For instance, in situations with very high task duration knowledge levels (e.g., when one has to estimate an invariable and well-known duration), the attention-based timing mechanism might be ignored, whereas in situations with no knowledge, the knowledge-based mechanism might be useless. Of even greater interest for future research are situations in which both outputs are used. With sufficient knowledge about the duration

of a task, memory could modify or weight the timing outcome, making it more coherent with previously learned durations. Consider, for instance, a situation in which the attention-based timing output is 17 min, but the participant has learned an RI in which the task lasts from 19 to 23 min. To give a final estimation of time, the process could involve weighting the timing output in order to account for what has been learned through previous experiences with the task. In that case, the shorter timing output would indicate that the target duration was more likely to fall within the lower RI range, and thus would lead to the conclusion that the task lasted 19 min. Hence, the strength of the task duration knowledge could determine how much weight it has in the final time judgement.

Finally, the idea that knowledge could modify the initial timing output (or “internal feeling” about the duration) is coherent both with our finding of high knowledge levels being associated with smaller RIs (Experiment 1) and with Ryan et al.’s (2004) conclusion that participants modify their counting method (intercount interval) to adjust themselves to the erroneous feedback they have received.

4.8 Concluding comments

While there has been quite a bit of work on the knowledge about event durations when remembering these durations retrospectively (Burt, 1992, 1993; Burt & Kemp, 1991; Burt, Kemp, & Conway, 2001), not much information has been collected about the extent to which previous knowledge about the duration of a task influences duration estimations in the context of prospective timing. The present series of experiments has produced converging conclusions about the role of task duration knowledge on time perception when a participant is informed at the beginning of a task that estimating the duration of that task is required.

This series of three experiments consistently showed that task duration knowledge increases time performance, up to an impressive level, in a wide array of timing tasks. Furthermore, a few key theoretical contributions can be put forward after this investigation. First, Experiment 1 led to a hypothesis as to how task duration knowledge may help time perception: by providing a range of possible durations for each task that reduces the risk of

error when having to judge time. Furthermore, Experiment 2 showed an interaction between attention and task duration knowledge: The secondary task only interfered when swimmers could not rely on their task duration knowledge. This finding is crucial, as it suggests the presence of a distinct knowledge-based mechanism involved in time perception. Finally, the third experiment showed that the physical execution of the learned task was not mandatory for recording enhanced temporal performance. Not only does this finding strengthen the claims of the two previous experiments, it also suggests an innovative approach for supporting time perception. Indeed, visualisation of a well-known task or activity may act as a temporal performance enhancer in other, unfamiliar timing situations

Finally, we particularly would like to highlight the ecological properties of this set of experiments. As Tobin and colleagues have pointed out (Bisson, Tobin, & Grondin, 2012; Tobin et al., 2010), time perception studies are scarcely taken outside of laboratories. Indeed, this situation may remind one of Neisser's (1976) call for a more ecological theory of the study of memory. In the case of task duration knowledge for prospective timing, ecologically valid investigations appear to be very appropriate, as the effect of task duration knowledge seems particularly relevant in the context of recurrent daily tasks. Though this ecological validity is an obvious strength of the present article, caution should be taken when interpreting the data, as the ecological aspect necessarily reduced the experimental control of some of the variables, mainly the exact contents of the participants' task duration knowledge. Thus, further studies will be required for us to gain a more complete picture of the role of task duration knowledge in time perception.

4.9 Authors' note

This research was made possible by a scholarship awarded to S.T. by the Natural Sciences and Engineering Council of Canada (NSERC), and by a research grant awarded to S.G. by NSERC. The authors thank the coaching staff of the Rouge et Or Swim Team for their collaboration, as well as three anonymous reviewers for their comments on a previous version of this article. Experiments 1 and 2 were presented at the 52nd Annual Meeting of the Psychonomic Society, held in Seattle in November 2011. Correspondence should be addressed to: simon.tobin.1@ulaval.ca or simon.grondin@psy.ulaval.ca

4.10 References

- Bisson, N., Tobin, S., & Grondin, S. (2012). Prospective and retrospective time estimates of children: A comparison based on ecological tasks. *PLoS One*, 7, e33049. doi:10.1371/journal.pone.0033049
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134, 330–343.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4, 184–197. doi:10.3758/BF03209393
- Brown, S. W. (1997). Attentional resources in timing: Interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. *Perception & Psychophysics*, 59, 1118–1140. doi:10.3758/BF03205526
- Brown, S. W. (1998). Automaticity versus timesharing in timing and tracking dual-task performance. *Psychological Research*, 61, 71–81.
- Brown, S. W. (2008). The attenuation effect in timing: Counteracting dual-task interference with time-judgment skill training. *Perception*, 37, 712–724.
- Brown, S. W., & Bennett, E. D. (2002). The role of practice and automaticity in temporal and nontemporal dual-task performance. *Psychological Research*, 66, 80–89. doi:10.1007/s004260100076
- Burt, C. D. B. (1992). Reconstruction of the duration of autobiographical events. *Memory and Cognition*, 20, 124–132. doi:10.3758/BF03197160
- Burt, C. D. B. (1993). The effect of actual event duration and event memory on the reconstruction of duration information. *Applied Cognitive Psychology*, 7, 63–73.
- Burt, C. D. B., & Kemp, S. (1991). Retrospective duration estimation of public events. *Memory and Cognition*, 19, 252–262. doi:10.3758/BF03211149
- Burt, C. D. B., Kemp, S., & Conway, M. (2001). What happens if you retest autobiographical memory 10 years on? *Memory and Cognition*, 29, 127–136. doi:10.3758/BF03195747
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural Brain Research*, 34, 35–42. doi:10.1016/S0166-4328(89)80088-9
- Droit-Volet, S., & Izaute, M. (2005). The effect of feedback on timing in children and adults: The temporal generalization task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 507–520.
- Fraisse, P. (1971). L'apprentissage de l'estimation de la durée et ses repères. *L'Année Psychologique*, 71, 371–379.
- Franssen, V., & Vandierendonck, A. (2002). Time estimation: Does the reference memory mediate the effect of knowledge of results? *Acta Psychologica*, 109, 239–267.
- Friedman, W. J. (1990). Children's representations of the pattern of daily activities. *Child Development*, 61, 1399–1412.
- Gamache, P.-L., & Grondin, S. (2010). The lifespan of time intervals in reference memory. *Perception*, 39, 1431–1451.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*, 22, 3–38.
- Graf, P., & Grondin, S. (2006). Time perception and time-based prospective memory. In J. Glicksohn & M. S. Myslobodsky (Eds.), *Timing the future: The case for a time-based prospective memory* (pp. 1–24). Hackensack: World Scientific Publishing.

- Grondin, S. (2005). Overloading temporal memory. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 31, 869–879.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 561–582.
doi:10.3758/APP.72.3.561
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G., & Lachance, R. (1999). When to start explicit counting in a time-intervals discrimination task: A critical point in the timing process of humans. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 25, 993–1004.
doi:10.1037/0096-1523.25.4.993
- Grondin, S., Ouellet, B., & Roussel, M.-E. (2004). Benefits and limits of explicit counting for discriminating temporal intervals. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58, 1–12. doi:10.1037/h0087436
- Guillot, A., & Collet, C. (2005). Duration of mentally simulated movement: A review. *Journal of Motor Behavior*, 37, 10–20.
- Hicks, R. E., & Miller, G. W. (1976). Transfer of time judgments as a function of feedback. *The American Journal of Psychology*, 89, 303–310.
- Jones, L. A., & Wearden, J. H. (2003). More is not necessarily better: Examining the nature of the temporal reference memory component in timing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56B, 321–343.
- Matthews, W. J. (2011). Can we use verbal estimation to dissect the internal clock? Differentiating the effects of pacemaker rate, switch latencies, and judgment processes. *Behavioural Processes*, 86, 68–74.
- Meck, W. H. (1983). Selective adjustment of the speed of internal clock and memory processes. *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, 9, 171–201.
doi:10.1037/00977403.9.2.171
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Ng, K. K., Tobin, S., & Penney, T. B. (2011). Temporal accumulation and decision processes in the duration bisection task revealed by contingent negative variation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 77. doi:10.3389/fnint.2011.00077
- Ogden, R. S., Wearden, J. H., & Jones, L. A. (2008). The remembrance of times past: interference in temporal reference memory. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 34, 1524–1544.
- Penney, T. B., Gibbon, J., & Meck, W. H. (2008). Categorical scaling of duration bisection in pigeons (*Columba livia*), mice (*Mus musculus*), and humans (*Homo sapiens*). *Psychological Science*, 19, 1103–1109. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02210.x
- Prinz, W., & Nattkemper, D. (1986). Effects of secondary tasks on search performance. *Psychological Research*, 48, 47–51.
- Pyles, M. K., Stolz, H. R., & Macfarlane, J. W. (1935). The accuracy of mothers' reports on birth and developmental data. *Child Development*, 6, 165–176.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005a). The long-term retention of time: A developmental study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58B, 163–176.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005b). La mémoire à long terme des durées: Fonctionnement et développement. *Psychologie Française*, 50, 99–116.

- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2007). Implicit long-term memory for duration in young children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19, 271–285.
- Roy, M. M., Mitten, S. T., & Christenfeld, N. J. S. (2008). Correcting memory improves accuracy of predicted task duration. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14, 266–275.
- Ryan, L. J., Henry, K., Robey, T., & Edwards, J. A. (2004). Resolution of conflicts between internal and external information sources on a time reproduction task: The role of perceived information reliability and attributional style. *Acta Psychologica*, 117, 205–229.
- Ryan, L. J., & Robey, T. B. (2002). Learning and performance effects of accurate and erroneous knowledge of results on time perception. *Acta Psychologica*, 111, 83–100.
- Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale: Erlbaum.
- Stewart, A. M., & Hopkins, W. G. (2000). Consistency of swimming performance within and between competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 997–1001.
- Sturman, M. M., Vaillancourt, D. E., Metman, L. V., Sierens, D. K., Bakay, R. A. E., & Corcos, D. M. (2007). Deep brain stimulation and medication for parkinsonian tremor during secondary tasks. *Movement Disorders*, 22, 1157–1163.
- Sturnieks, D. L., St. George, R., Fitzpatrick, R. C., & Lord, S. R. (2008). Effects of spatial and nonspatial memory tasks on choice stepping reaction time in older people. *Journals of Gerontology*, 63A, 1063–1068.
- Taatgen, N., & van Rijn, H. (2011). Traces of times past: Representations of temporal intervals in memory. *Memory and Cognition*, 39, 1546–1560. doi:10.3758/s13421-011-0113-0
- Tobin, S., Bisson, N., & Grondin, S. (2010). An ecological approach to prospective and retrospective timing of long durations: A study involving gamers. *PLoS One*, 5, e9271. doi:10.1371/journal.pone.0009271
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385–398. doi:10.1037/0003-066X.40.4.385
- Tulving, E. (1986). What kind of a hypothesis is the distinction between episodic and semantic memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 307–311. doi:10.1037/0278-7393.12.2.307
- Wearden, J. H., Denovan, L., & Haworth, R. (1997). Scalar timing in temporal generalization in humans with longer stimulus durations. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 23, 502–511.
- Wearden, J. H., & Lejeune, H. (2008). Scalar properties in human timing: Conformity and violations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 569–587. doi:10.1080/17470210701282576
- Yarmey, A. D. (2000). Retrospective duration estimations for variant and invariant events in field situations. *Applied Cognitive Psychology*, 14, 45–57.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6, 12–16.
- Zakay, D., & Block, R. A. (2004). Prospective and retrospective duration judgments: An executive-control perspective. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 319–328.

4.11 Table 1.

Mean (M) Ratio, Absolute Standardised Error (ASE - %) and Range Interval (RI) as a function of stroke and secondary task conditions in Experiment 1

Stroke	Secondary task	Ratio		ASE		RI	
		M	SD	M	SD	M	SD
Worst	No	1.04	0.05	4.56	3.94	8.33	4.00
	Yes	1.04	0.06	5.31	4.38	7.43	3.18
Best	No	0.99	0.05	2.81	1.81	6.38	3.00
	Yes	1.00	0.04	2.62	1.91	6.66	2.54

SD is Standard Deviation

4.12 Table 2

Table 2.

Mean and standard deviation (SD) for Ratio and ASE (in %),
by the visualized task in Experiment 3

Task	Ratio		ASE	
	Mean	SD	Mean (%)	SD
Swimming	1.01	0.15	12.51	7.85
Climbing	1.01	0.21	17.81	10.79

4.13 Figure captions

1. Mean absolute standardised error (in %) for each context with and without the secondary task (ST) in Experiment 2. Bars represent 95% confidence interval.

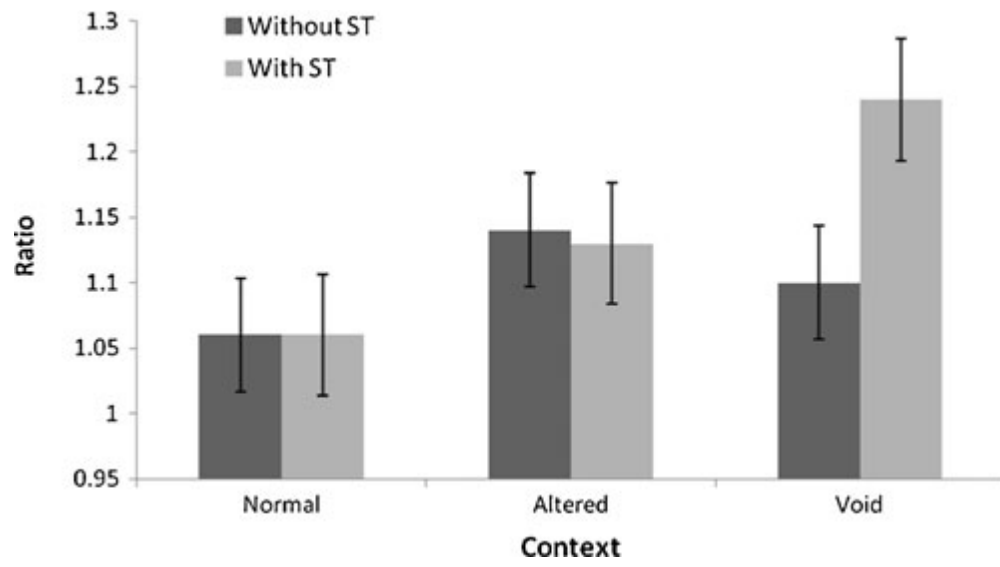


Figure 1

Chapitre 5 - Prior task experience affects temporal prediction and estimation

5.1 Abstract

It has been shown that prior experience with a task improves temporal prediction, even when the amount of prior experience with the task is often limited. The present study targeted the role of *extensive* training on temporal prediction. Expert and intermediate runners had to predict the time of a 5km running competition. Furthermore, after the race's completion, participants had to estimate their running time so that it could be compared with the predicted time. Results show that expert runners were more accurate than intermediate runners for both predicting and estimating their running time. Furthermore, only expert runners had an estimation that was more accurate than their initial prediction. The results confirm the role of prior task experience in both temporal prediction and estimation.

5.2 Introduction

Time perception, as opposed to other sensory modalities, does not rely on sensory receptors. As a consequence, researchers trying to explain time perception quickly turned into the direction of cognitive processes such as attention and memory (Roetzheim, 2008). While the role of attention in timing has been thoroughly discussed (see Brown, 2008 for a review), some aspects of the involvement of memory, especially long-term memory (LTM), are still understudied, as pointed out recently by many authors (Rattat & Droit-Volet, 2005b; Taatgen & van Rijn, 2011; Tobin & Grondin, 2012). Nonetheless, it should be noted that some aspects of LTM were studied in a timing research perspective, such as the lifespan of time intervals in memory (Gamache & Grondin, 2010), the interference between different temporal traces (Grondin, 2005) or between other task demands and memory traces (Ogden, Wearden, & Jones, 2008), the development of temporal memory (Rattat & Droit-Volet, 2005a, 2005b, 2007), the effect of the number of presentations of a standard duration on temporal discrimination (Grondin, 2012; Grondin & McAuley, 2009; Jones & Wearden, 2003), the influence of pharmacological substances on temporal memory (Meck, 1983), and the EEG basis of memory traces (Ng, Tobin, & Penney, 2011).

Even if the involvement of LTM in timing did receive some attention lately, the actual corpus of knowledge in the literature is still thinner than one may wish. One particular overlooked aspect of LTM that has been recently brought up by Tobin and Grondin (2012) is the effect of prior experience with a task on the perceived duration of that task. Indeed, as many daily activities (for instance, driving to work) occurs routinely, it is very likely that one learns temporal information about recurring tasks, temporal information that in turn can improve temporal estimation. As a matter of fact, children as young as 4 years old can classify orderly activities like eating a cookie and watching a movie on the basis of their duration. This shows that children already have a representation of how long some tasks may last (Friedman, 1990).

One of the reasons why the influence of prior experience with a task on timing has been overlooked until recently might simply be because it appears too obvious (Tobin & Grondin, 2012). It is logical to think that one uses experience about a task when such

experience is available. Nonetheless, the influence of prior experience on timing clearly deserves empirical investigations for two main reasons. First, as many daily tasks happen more than once, many temporal judgments should occur in situations when prior experience with a task is available. Not taking prior experience with a task into account does not seem a very ecological way to address temporal perception, especially now that a growing number of researchers agree that time perception researches should turn to more ecological tasks (Bisson, Tobin & Grondin, 2012, Matthews & Meck, 2014; Tobin, Bisson & Grondin, 2010). Secondly, studying prior experience, as it was shown recently by Tobin and Grondin (2012), sheds light on the involvement of LTM in timing, an involvement that has long been overshadowed by the more prominent and studied role of attention.

5.2.1 Prior experience with a task

The effect of prior experience with a task on timing may be explained by two main cognitive processes. First, as the task is repeated, its execution becomes automatized and requires less attention to perform, leaving more attentional resources for time monitoring. Since the amount of attention available for timing is strongly related to the accuracy of temporal judgments, it explains why the durations of trained tasks are more accurate than novel ones. This demonstration has been reported numerous times in the literature (see Block, Hancock, & Zakay, 2010). The second aspect that could explain the effect of prior experience regards long-term memory. Indeed, through numerous repetitions of the task, one gains certain knowledge of how long the task lasts.

A recent study by Tobin and Grondin (2012) targeted the involvement of LTM by measuring how different levels of task duration knowledge affect temporal perception. They defined “task duration knowledge” as LTM stored knowledge about the duration of a task. Their study showed that task duration knowledge can improve temporal performance across different temporal tasks (verbal estimation and production) and duration range (from 30s to 90s). Furthermore, this result was obtained by two distinct manipulations, both requiring the participation of elite athletes (swimmers). First, they compared the temporal perception of two automatized tasks, i.e., tasks with higher task duration knowledge than the other. Secondly, they altered the context in which a single task was performed in order to control

the usage of task duration knowledge. In both cases, having more task duration knowledge, or performing the task in a context that allowed relying on task duration knowledge, enhanced the temporal judgments' precision. In addition, they also performed a third experiment in which elite swimmers were asked to produce 36s of visualization of a well known task (swimming) and another unknown task (climbing Mount Everest). This experiment further showed that the physical execution is not required to observe an effect of prior experience with a task as the temporal productions of the swimming task (familiar) were much more precise than that of the climbing one (unfamiliar).

While the task was not physically executed in this last experiment, it was still visualised. If no execution at all (whether physically or mentally) is performed, can prior experience with a task still enhance temporal perception? In other words, do elite athletes like those who participated in Tobin and Grondin (2012) simply know how long it takes them to cover certain distances? The best way to answer that question is to require a temporal prediction of participants with various expertise levels. Indeed, in the prediction task, the temporal judgment is made *before* the task is even executed, thus, the temporal judgment cannot rely on any cues related to the execution of the task but only on previous knowledge with the task at hand. Indeed, the attentional explanation of the effect of prior experience cannot apply to the prediction task; the temporal judgment can only rely on previously learned knowledge stored in LTM.

Thus, the first goal of the experiment is to extend the findings of the Tobin and Grondin study to the prediction task. In that regards, the literature already provides certain answers. Indeed, many experiments, although they did not use the terms task duration knowledge, did observe the effect of prior experience with a task on temporal prediction (Thomas, Newstead & Handley, 2003; Thomas Handley & Newstead, 2007; see Halkjelsvik & Jørgensen, 2012 for a review).

For instance, Thomas et al. (2003) gave participants a little practice time (two minutes) with the task before asking them a temporal prediction. It turned out that this simple two minutes of practice strongly increased the prediction performance. Furthermore, Roy, Mitten, and Christenfeld (2008) gave participants a single practice trial and further gave a temporal feedback about the duration of that trial for only half of the participants. When

asked to make temporal prediction in the following trial, participants who received the temporal feedback were more accurate, showing that they used the information provided by the feedback to guide their next prediction. Finally, Roy and Christenfeld (2007, Experiment 2) compared the prediction of a task based on experience with the task. Indeed, participants had a practice block containing one, three or nine trials of the targeted task (origami). It turned out that the number of trials significantly affected temporal prediction. The number of practice trials affected the side of the error; participants with one practice trial overestimated the time it would take and participants with nine trials underestimated the time it would take.

The aforementioned studies suggest that prior experience with a task increases the precision of the temporal prediction, or changes the side of the error (from overestimation to underestimation). However, it should be noted that, in these experiments, the prior experience is often limited (from only a part of the task to nine repetitions of the task). Although their results were quite interesting, it appears necessary to study the effect of a more *extensive* prior experience. Indeed, as Tobin and Grondin (2012) pointed out in introducing the notion of task duration knowledge, this aspect of temporal perception is relevant for recurring tasks, tasks that are executed on a daily basis, again and again. Thus, although the previously cited experiments were well constructed and have a clear theoretical output, it does not show how the temporal prediction is affected by a level of prior experience that is *comparable* with other daily activities, like driving to work each day for many years.

As a result, one legitimate question arising is the following: what happens when one has an *extensive* training with the task, such as athletes do with their sport? Does the prediction reach an impressive accuracy level, as it is observed with temporal estimation (see Tobin & Grondin, 2012)? As far as we know, the only study that required the participation of experts (pianists) is the one reported by Boltz, Kupperman and Dunne (1998; Experiment 2). In their experiment, they compared the time prediction across novices and expert pianists for the execution of musical pieces varying in their degree of familiarity (i.e., identified as recently learned, well learned or extremely well learned). Their results show that for both experts and novices, the degree of familiarity had a significant effect on predicted time: the less familiar the melody was, the longer the predicted duration was. However, experts were

surprisingly not better at predicting time than novices, which contradicts what may be expected on the basis of other previously cited studies (Roy et al., 2008; Thomas et al., 2003). Indeed, as prior task experience seems to increase time prediction accuracy, experts should have been better than novices. Two methodological aspects of their experiment may explain this non significant result. First, participants were instructed to predict to the nearest 30s. It might have levelled the predictions across the two groups and masked any significant difference that was within a 30-s margin. Furthermore, in music, the key temporal element might be the inter-note interval or tempo, not the overall duration. Hence, it might be best to study the effect of expertise on time prediction with a task in which the elapsed duration is fundamental, like in sports. This idea will be tested in the present experiment.

5.2.2 Temporal estimation

Using the prediction task opens the door to studying another relevant aspect of timing. Indeed, while a temporal prediction on its own is interesting, it is even more useful if it is compared with an assessment of the duration once the task is completed. Indeed, as the prediction cannot rely on active time monitoring, it is intriguing to assess how far the prediction is from the temporal estimation of the same task upon completion. Few studies compared directly temporal prediction and the subsequent estimation of the task once completed. Some studies did offer that comparison (Roy & Christenfeld, 2008), but used the retrospective paradigm. Such a paradigm means that participants were not told before the start of the duration to be timed that time estimation would be required. Hence, in a retrospective timing task, participants learn the time estimation requirement afterwards. Though retrospective estimates are valuable measures of timing and deserve more empirical investigation (see Bisson et al., 2012; Tobin et al., 2010), it would probably be more relevant, when comparing temporal prediction and estimation, to use the prospective paradigm. In this paradigm, participants are told in advance that a temporal judgment will be required after completing the task. Hence participants can allow more attentional resources to time monitoring, explaining why time estimates in the prospective paradigm are most often reported as more precise than time estimates in retrospective conditions (Block, et al., 2010; Block & Zakay, 1997). By using the prospective paradigm, this experiment should answer the following question: if one puts all its attentional resources into timing its running

performance, can its estimation be more precise than the initial prediction or there is no gain to be expected?

The few studies left that compared time estimation (prospectively) and prediction do not allow for a clear picture of how these two judgment types differ. First, the Boltz et al. (1998)'s experiment showed that, for expert pianists, the estimated duration was more accurate than the predicted duration. However, the difference between temporal estimation and prediction of novices was mediated by the familiarity with the melody. Indeed, the estimations were more accurate than the predictions for only two of the three familiarity levels (novel and well trained). This improvement was not recorded for the extremely well trained melodies.

On the opposite, Burt and Kemp (1994) found large differences when comparing the prediction and estimation of daily activities (like buying stamps or sorting cards). Indeed, the temporal estimation accuracy after the task's completion was steeply increased when compared to the actual prediction. Hence, the difference between temporal prediction and estimation appears unclear so far and might be mediated by the level of familiarity or prior experience with the task, as suggested by the results of Boltz et al. (1998).

5.2.3 The present study

For the experiment's purpose, expert and intermediate runners were recruited and had to predict how long it would take them to run a 5km race. Participants were also required to estimate their completion time immediately after the finish line.

Since prior task experience seems to improve temporal judgments, it was expected the more experienced runners to have the best temporal prediction and estimation. Furthermore, we expected the temporal estimation to be more accurate than the initial time prediction as the estimation, being made once the task is completed, could be based on more information (i.e., on how the participants felt, its rank, the fatigue level, etc.).

A third explanatory goal was to assess if all sorts of temporal knowledge are equal. Indeed, runners probably build the task duration knowledge from the feedback they get after each training session (e.g. this session took 43 min). Thus, participants had to report what the sort

of feedback they were using (1- measure of time, 2- measure of distance, 3- measure of speed), when training, to see if one sort of feedback provides a better knowledge of one's running time that can translate into more accurate temporal prediction and estimation. We expected that using feedback about speed would be the most efficient feedback type (highest correlations with temporal precision) because one's running speed can be applied to other (i.e., shorter or longer) running situations (e.g. if one knows s/he runs at 10km/hr, s/he can expect to run 15k in 90min).

5.3 Method

Participants

Ninety-one participants (50 males and 41 females) out of the 244 that were registered in a running competition enrolled in the experiment. Six participants were rejected as they did not fill the form properly or did not complete the event, leaving a total of 85 participants. The age of participants ranged from 18 to 66, with a median of 28 years old.

Material

The participants had to fill out an in-house questionnaire assessing their sporting level, training habits and knowledge of time while running. The questionnaire was in paper form. Three questions measure training habits and were: How often do you get measures of (1) time (2) distance (3) speed when you train? The response scale extended from 1 to 5; 1 = never, 5 = always. They were also asked (on a 1 to 5 scale, 5 = very well) how well they know the time it takes them to run a specific distance (5 km). The other questions were "You have been participating in running race for how many years?", "How many times per week do you run?", "How many hours and minutes per week do you run?", "What is your running level (amateur, provincial or national)?", "How many times have you participated in this specific race?" "How far from your real performance would a satisfactory prediction be?". The runners supplied their own clothing and accessories.

Procedure

The participants first had to register for the race. The event was a local, on-campus, 5-km race open to the public, although it was also part of a provincial competitive schedule. The circuit consisted of two 2.5-km laps without any distance markers. The circuit changes every year and is unannounced, which means that runners cannot train for this specific race. The goal of the race was to finish not only in the fastest possible time, but in the most accurately predicted time (awards were also given for the best predictions). However, running as fast as possible is still the main goal of the race; the prediction process is simply added for fun. Hence, runners were not simply self-pacing to achieve a good prediction; they ran as fast as they could and hoped they predicted a precise duration. Watches or any other timing devices were prohibited. Each runner stated their predicted time when they registered for the race (and these predictions were later retrieved by the experimenters). After registration, participants were invited to enrol in the experiment. If they accepted, they had to fill out the questionnaire and return it before the start of the race. One of the questions was aimed at defining groups for statistical analyses. Thus, they had to report the level at which they compete: national, provincial and amateur.

The race proceeded without any intervention on the part of the experimenters. They waited for the runners to pass the finish line before collecting the final running time estimates. The runners knew before the start of the race that this time estimation would be required. The runners took from 924 to 1918s to complete the race, with a mean time of 1348s (22min and 28s). It should be noted that the weather (early spring in a Northern climate) was particularly difficult with an outside temperature around 4°C wind heavy rain¹⁰ and gusty winds. This study was approved by the *Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université Laval*, with written informed consent from all subjects. All subjects gave written informed consent in accordance with the Declaration of Helsinki

Data analysis

¹⁰ According to verbal reports of many participants, the climate conditions slowed the overall running performance. However, they did report taking the weather into account when registering the temporal prediction.

For the purpose of comparing the effect of expertise, two groups were created: experts and intermediates. The expert group consisted of runners who compete regularly at a provincial and national level ($n = 30$). The intermediate group consisted of runners who only compete in amateur events ($n = 55$). This group allocation was based on self-reported information. Hence, in order to investigate if both groups differed in terms of running experience, the amount of training was compared. Expert runners trained in average 4.81 times a week for a total of 6.86 hours per week, while these numbers are 3.14 and 2.82, respectively, for intermediate runners. The groups differ significantly for both the number of training sessions per week, $t(83) = 5.588, p < .001$, and the number of training hours per week, $t(83) = 8.047, p < .001$. Furthermore, expert runners reported they have been participating in running races for an average of 8.06 years, while this number goes down to 2.66 for novices. This difference is significant $t(43.87) = -3.604, p < .001$.

Finally, participants were asked to report how well they know the time it takes them to run a specific distance (like 5 km). Expert runners significantly reported a better knowledge ($M = 4.14$) than intermediate runners ($M = 3.25$), with scores on a 1 to 5 scale (5 = very high). This difference is statistically significant, $t(78) = 5.106, p < .001$. Hence, the distinction between both groups appears adequate since they significantly differ on many aspects¹¹.

Two dependent variables were used for assessing performances. The first was the perceived to real time ratio (Ratio), a variable showing the side of the error (over- or underestimation). A Ratio of 1 means a perfect estimation, while Ratios under and over 1 mean time underestimation and overestimation, respectively. The second variable used was the Absolute Standardised Error (ASE), a measure that is not sensitive to the side of the error, thus a more genuine measure of accuracy. The ASE is calculated on the ratio by taking $|1 - \text{ratio}|$.

¹¹ The experts reported here may not represent “real” experts by some as they are not elite international level. However, the significant differences between the two groups reported here are strong enough to represent two distinct groups having a distinct background with running. It is not a study aimed at *extraordinary* elite experts.

5.4 Results

Table 1 shows the Ratio and ASE for the two time judgments (prediction and estimation), by expertise (experts vs. intermediates). To compare these judgments and assess if the expertise produced an effect of these judgments, a 2 x 2 factorial design ANOVA was first conducted on the Ratio, with time judgment being a repeated-measure factor and expertise a between-subject factor. The ANOVA revealed a significant expertise effect, $F(1,69) = 7.67, p = .007, \eta^2 = .100$ and a significant interaction between time judgment and expertise, $F(1,66) = 4.55, p = .036, \eta^2 = .062$. A breakdown of the interaction revealed that expert runners were closer to 1 than intermediate for both temporal judgments. Furthermore, for the expert runners, the estimated time was more precise than the predicted time, while there was no difference between these two temporal judgments for the intermediate runners. The same ANOVA design was used and conducted on the ASE. This time, only the effect of expertise is significant $F(1,69) = 13.371, p \leq .001, \eta^2 = .109$, showing that experts are more accurate for both tasks.

Since the previous analyses are based on self reported group attribution, the relation between expertise and temporal performance was further analysed with correlational analyses. Indeed, correlations between the number of training per week and perceived time were calculated. They show that the more weekly training sessions a runner complete, the more precise the temporal judgments are, and this finding applies to both prediction ($R = -.575, p \leq .001$ for the ASE and $R = -.403, p \leq .001$ for the Ratio) and estimation ($R = -.498, p \leq .001$ for the ASE and $R = -.248, p = .036$ for the Ratio).

Furthermore, runners were asked to report the frequency to which they use measures of distance, time, and speed. Correlational analyses were conducted to assess if the use of a specific feedback was associated with temporal accuracy (again using the percentage of error). The analyses revealed that the use of speed was the only feedback type that correlated significantly with time prediction ($R = -.285, p = .019$ for the ASE and $R = -.239, p = .033$). Thus, the more runners reported using measures of running speed while training (regardless of their expertise levels), the more precise was their predicted time. A mediation analysis revealed that the use of speed-related feedbacks did not mediate the effect of expertise.

Although correlated to predicted time, the usage of feedback was not correlated to estimated time.

5.5 Discussion

This section will first discuss about the effect of extensive training on temporal performance and secondly, will contrast the prediction and the subsequent estimation.

5.5.1 Effect of experience

The results show that expert runners are better at predicting their running time than intermediate runners. This conclusion is coherent with other studies showing prior task experience enhances the prediction accuracy (Boltz et al., 1998). While there is sufficient body of studies showing this role of prior task experience on temporal prediction, the demonstrations were usually made with very limited prior task experience or training with the task. Hence, the participation of experienced runners allowed assessing how extensive training affects the accuracy of the prediction.

Both groups of runners exhibited surprisingly unbiased predictions. Indeed, compared to other studies using temporal prediction (see Table 1 in Roy, Christenfeld, & McKenzie, 2005), the ratios recorded here are quite close to 1. Hence, it suggests that the more one is experienced with a task, the better the prediction becomes. That is coherent with Tobin and Grondin (2012)'s study in which experimented athletes reached an accuracy level on a temporal estimation task much better than what is generally observed in the literature for similar tasks/durations. Consequently, both studies converge and show that temporal perception processes (estimation or prediction) are strongly affected by prior task experience and that a “near-perfect” ratio is possible with sufficient training with the temporal task.

Another aspect of the results is interesting. Indeed, not only were the expert runners more accurate, the side of their error (over- or underestimation) was the opposite than the one observed with intermediate runners. Indeed, expert runners predicted a faster performance than what they actually accomplished while intermediate runners

underestimated their performance by predicting a slower time. The amount of prior task experience not only affected temporal precision, but also caused a directional effect. This directional effect may be caused by one's confidence into personal abilities, with experts being more confident than intermediates.

While these results show that experts are better at perceiving time, little is known as to *why* exactly they are better. Tobin et al. (2010) studied the time perception of gamers for 12 and 35 minutes of gaming. In their studies, gamers reported playing an amount of 12.95 hours per week on average. This amount of game play exceeds by far the amount of training reported here by the runners. However, gamers were quite imprecise at estimating time, with ratios ranging from 1.2 to 1.6 depending on the duration used. Thus, it appears that doing a specific task often, be it running or playing video games, is not sufficient to create temporal expertise. The main difference between these two tasks can be the importance of time. Indeed, when playing, the duration of the game is not important. In fact, many players reported they specifically play to lose track of time (Wood, Griffiths, & Parke, 2007). However, when training, runners may pay close attention to their distance, time and speed. Hence, for the large experience with the task to translate into more accurate temporal perception, it might be necessary to pay attention to the duration of each activity (i.e., each training session) and get timely feedback (e.g., this 5-km training took 21 min). Without these feedbacks, temporal expertise may not develop, like in the case of gamers. Indeed, it is well known that temporal feedback improves time perception (Fraisse, 1971; Hicks & Miller, 1976; Ryan & Fritz, 2007).

This explication is also coherent with the memory bias account proposed by Roy et al. (2005). Indeed, they suggested that the inaccuracy in the temporal prediction could be caused by an inaccuracy in the memory of the previous occurrence of the task. Said differently, people have poor prediction because they remembered poorly the duration it took the previous times. Thus, receiving timely feedback may often help creating an accurate memory of how long the task last, which in turn translates into accurate predictions. In line with this idea, runners had to report what kind of feedbacks, if any, they use while training (elapsed duration, travelled distance, or averaged speed) to see if the use of these feedbacks correlates with temporal performance.

The results show that, among time, speed and distance, it is only the usage of speed-related feedback that is significantly correlated with the accuracy of time prediction, regardless of the expertise level. Hence, the more a runner uses a measure of speed when training, the more precise at predicting time he/she becomes. This finding suggests that runners could gain their temporal expertise through the feedback they got after each training session (in fact, many GPS systems nowadays seem to have this in mind, helping runners know their running pace when training). Indeed, by learning their average speed, it becomes easier for them to know how long running a specific distance should take by using a simple formula based on their average speed..

5.5.2 Prediction vs. estimation

The second main goal of the experiment was to contrast the initial temporal prediction with the estimation upon completion. As stated in the introduction, few studies compared the performance level on a temporal prediction with its subsequent temporal estimation. Furthermore, the conclusions from such studies differed, offering quite a complex picture. Based on our results, both the accuracy of the initial prediction and the expertise level of the participant might explain the difference between prediction and estimation and further explain why different studies reached different conclusions.

First, for novel or occasional tasks such as the one used by Burt and Kemp (1994), the recorded predictions were far from accurate. Hence, once the task is completed, participants may easily figure that their prediction was wrong and adjust it with a more precise estimation. This could explain why in such cases the estimation is more accurate than the prediction. Indeed, the farther the prediction is from the actual duration, the larger are the chances to improve the subsequent temporal estimation as there is much more room for improvement.

However, when the prediction accuracy is closer to the target duration, it may take a certain level of expertise to be able to adjust that prediction and make a more precise estimation. Indeed, our intermediate runners did not improve their prediction accuracy when estimating time after completion. Similarly, novice pianists in the Boltz et al. (1998)'s experiment only improved in the two degrees of familiarity (novel and well trained) for which

their predicted time was the less accurate (however, for the extremely well trained melody, the prediction of novices was more accurate and their estimation did not improve that prediction). On the opposite, our expert runners and Boltz et al. (1998)'s expert pianists were always better at estimating than predicting time, even if they were better than novices at predicting time. Hence, it may require a certain level of expertise with the task in order to “read” the duration of the task and correct the prediction into a more precise temporal estimation. Thus not only prior task experience or expertise would predict the accuracy of the prediction, but it would also predict one's ability to make a temporal estimation that is more accurate than its initial prediction.

5.5.3 Limitations and future studies

Relying on athletes allowed testing an amount of training that is almost impossible to recreate in a laboratory setting. As the insufficient amount of training in other studies to fully reflect “real-life” situations was an important issue, the participation of athletes was a sound choice. However, the clear drawback from this decision is that participant came to the study with their own background; it was thus impossible to monitor their training. Since we advocate for more ecological studies in timing (see Tobin et al., 2010), especially when studying prior task experience, we argue that this limitation is minor. However, subsequent studies with more experimental control on the training process will be necessary to better understand how prior experience improves timing. Especially, monitoring the training process could be very informative and might show the learning curve (for instance, what amount of training is required to reach an asymptotic temporal performance?).

It could be argued that another limitation of the present study is the fact that the groups were separated on the basis of self-reported data (expert or intermediate). However, the statistical analysis made on the amount of training actually showed both groups do differ significantly. Furthermore, correlation analyses showed that the more runners train, the more accurate their temporal perception is. This key finding is independent from the group attribution..

5.6 Conclusions

This study adds to the large body of evidence showing that prior task experience enhances temporal prediction accuracy. Furthermore, the participation of athletes showed that with more experience with a task, predictions get more accurate. It further shows that extensive training improves temporal performance up to an impressive level. This finding also applies to the temporal estimation made after the task's completion. Finally, the difference between the prediction and the estimation of a task may depend on both the accuracy of the prediction, and the level of experience with a task.

5.7 Acknowledgments

This project was founded by a grant awarded to ST by the National Science and Engineering Research Council of Canada. The authors would like to thank Richard Chouinard for his collaboration with the project. Correspondence should be addressed to Simon Tobin, École de psychologie, 2325 rue des Bibliothèques, Université Laval, Québec, Qc, Canada, G1V 0A6 ; simon.tobin.1@ulaval.ca or simon.grondin@psy.ulaval.ca

5.8 References

References

- Bisson, N., Tobin, S., & Grondin, S. (2012). Prospective and retrospective time estimates of children: A comparison based on ecological tasks. *PLoS ONE*, 7, e33049.
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. [doi: DOI: 10.1016/j.actpsy.2010.03.006]. *Acta Psychologica*, 134(3), 330-343.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(2), 184-197.
- Boltz, M. G., Kupperman, C., & Dunne, J. (1998). The role of learning in remembered duration. *Memory & Cognition*, 26(5), 903-921.
- Brown, S.W. (2008) Time and attention: Review of the literature. In S. Grondin (Ed.) *Psychology of time* (pp 111-138). Bingley, UK: Emerald Group Publishing.
- Burt, C. D. B., & Kemp, S. (1994). Construction of activity duration and time management potential. *Applied Cognitive Psychology*, 8(2), 155-168.
- Fraisse, P. (1971). L'apprentissage de l'estimation de la durée et ses repères. *L'Année Psychologique* 71(2), 371-379.
- Friedman, W.J., (1990). Children's representations of pattern of daily activities. *Child Development*, 61(5) 1399-1412.
- Gamache, P.-L., & Grondin, S. (2010). The lifespan of time intervals in reference memory. [doi:10.1068/p6652]. *Perception*, 39(11), 1431-1451.
- Grondin, S. (2005). Overloading Temporal Memory. [doi:10.1037/0096-1523.31.5.869]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(5), 869-879.
- Grondin, S. (2012). Violation of the scalar property for time perception between 1 and 2 seconds: Evidence from interval discrimination, reproduction, and categorization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 880-890.
- Grondin, S., & McAuley, J. D. (2009). Duration discrimination in crossmodal sequences. *Perception*, 38, 1542-1559.
- Hicks, R. E., & Miller, G. W. (1976). Transfer of Time Judgments as a Function of Feedback. *American Journal of Psychology*, 89(2), 303-310.
- Jones, L. A., & Wearden, J. H. (2003). More is not necessarily better: Examining the nature of the temporal reference memory component in timing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 56B(4), 321-343.
- Matthews, W. J., & Meck, W.H. (2014). Time perception: The bad news and the good. *WIREs Cognitive Science*, 5, 429-446
- Meck, W. H. (1983). Selective adjustment of the speed of internal clock and memory processes. [doi:10.1037/0097-7403.9.2.171]. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9(2), 171-201.
- Ng, K. K., Tobin, S., & Penney, T. B. (2011). Temporal Accumulation and Decision Processes in the Duration Bisection Task Revealed by Contingent Negative

- Variation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5(77)
DOI=10.3389/fnint.2011.00077
- Ogden, R. S., Wearden, J. H., & Jones, L. A. (2008). The remembrance of times past: Interference in temporal reference memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(6), 1524-1544.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005a). La mémoire à long terme des durées : fonctionnement et développement. [doi: DOI: 10.1016/j.psfr.2004.10.006]. *Psychologie Française*, 50(1), 99-116.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005b). The long-term retention of time: A developmental study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 58B(2), 163-176.
- 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.
- Roeckelein, S.W. (2008) Time and attention: Review of the literature. In S. Grondin (Ed.) *Psychology of time* (pp 111-138). Bingley, UK: Emerald Group Publishing.
- Roy, M. M., & Christenfeld, N. J. S. (2007). Bias in memory predicts bias in estimation of future task duration. *Memory & Cognition*, 35(3), 557-564.
- Roy, M. M., & Christenfeld, N. J. S. (2008). Effect of task length on remembered and predicted duration. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15(1), 202-207.
- Roy, M. M., Christenfeld, N. J. S., & McKenzie, C. R. M. (2005). Underestimating the duration of future events: Memory incorrectly used or memory bias? *Psychological Bulletin*, 131(5), 738-756.
- Roy, M. M., Mitten, S. T., & Christenfeld, N. J. S. (2008). Correcting Memory Improves Accuracy of Predicted Task Duration. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(3), 266-275.
- Ryan, L. J., & Fritz, M. S. (2007). Erroneous Knowledge of Results Affects Decision and Memory Processes on Timing Tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6), 1468-1482
- Taatgen, N., & van Rijn, H. (2011). Traces of times past: Representations of temporal intervals in memory. *Memory & Cognition*, 39(8), 1546-1560.
- Thomas, K. E., & Handley, S. J. (2008). Anchoring in time estimation. *Acta Psychologica*, 127(1), 24-29.
- Thomas, K. E., Handley, S. J., & Newstead, S. E. (2007). The role of prior task experience in temporal misestimation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(2), 230-240.
- Thomas, K. E., Newstead, S. E., & Handley, S. J. (2003). Exploring the time prediction process: The effects of task experience and complexity on prediction accuracy. *Applied Cognitive Psychology*, 17(6), 655-673.
- Tobin, S., Bisson, N., & Grondin, S. (2010) An ecological approach to prospective and retrospective timing of long durations: A study involving gamers. *PLoS ONE* 5(2) e9271.
- Tobin, S., & Grondin, S. (2012) Time perception is enhanced by task duration knowledge: evidence from experienced swimmers. *Memory & Cognition* 40(8) 1339-1351.
- Wood, R. T. A., Griffiths, M. D., & Parke, A. (2007). Experiences of Time Loss among Videogame Players: An Empirical Study. [Article]. *CyberPsychology & Behavior*, 10(1), 38-44.

5.9 Table

Table 1. Mean (M) Ratio and ASE as a function of the task and expertise level					
Expertise level	Task	Ratio		ASE	
		M	SD	M	SD
Intermediates	Prediction	1.039	.08	.052	.05
	Estimation	1.027	.05	.043	.04
Experts	Prediction	.988	.02	.018	.02
	Estimation	1.004	.01	.012	.01
<i>SD</i> is the standard deviation					

Chapitre 6. Discussion générale

La présente discussion visera à résumer et à mettre en relief les contributions empiriques et théoriques des expériences rapportées dans les articles des chapitres 5 et 6 ci-dessus. Chacun des trois objectifs présentés au chapitre 3 seront revisités dans l'ordre : (1) quantifier l'effet des connaissances propres à la durée, (2) étudier l'interaction entre la MLT et l'attention et (3), déterminer le mécanisme d'action des connaissances propre à la durée. Finalement, les limitations de la thèse seront mises de l'avant et des applications ainsi que des pistes de recherches futures seront avancées afin d'approfondir les connaissances propres à la durée.

6.1 Premier objectif : quantifier l'effet des connaissances propres à la durée

Le premier et principal objectif de la thèse était de quantifier l'effet des connaissances propres à la durée sur la perception temporelle. Autrement dit, la thèse visait à déterminer dans quelle mesure et dans quels contextes (type de tâches, durées, nature du jugement temporel, etc.) lesdites connaissances *améliorent* la perception temporelle.

Le relevé de la littérature présenté en introduction laissait présager que la présence de connaissances propres à la durée améliorerait la perception temporelle, mais peu d'information permettait de spécifier l'ordre de grandeur de cet effet, ni dans quel contexte cette amélioration survient. La première étape pour comprendre un mécanisme est d'abord de décrire et détailler son action, d'où l'élaboration de cet objectif. L'ensemble des quatre expériences réalisées avait comme but d'atteindre cet objectif.

6.1.1 Un effet robuste

La première question à se poser est la suivante : les connaissances temporelles en mémoire ont-elles eu un effet cohérent et constant, d'une expérience à l'autre, sur la perception temporelle? Les expériences réalisées démontrent unanimement que les connaissances

propres à la durée améliorent la perception temporelle, et ce, dans divers contextes expérimentaux. Effectivement, trois types de jugements temporels ont été mis à l'épreuve : la prédiction, l'estimation ainsi que la production. Or, dans chacun de ces jugements, des connaissances propres à la durée ont nettement amélioré la précision temporelle. De même, différentes catégories de durées ont été testées. Encore une fois, des connaissances propres à la durée ont amélioré la performance temporelle et ce, que la tâche dure 36s, ou 20 minutes. Cette démonstration que l'effet des connaissances propres à la durée se manifeste dans un vaste éventail de situations expérimentales est un argument convaincant en faveur du rôle de la MLT dans la perception temporelle. Effectivement, cela témoigne d'un effet constant, ayant été observé de façon cohérente dans l'ensemble des expériences réalisées.

Qui plus est, cette démonstration a été faite dans une perspective écologique, avec des tâches et des durées de la vie courante. Or, il ne s'agit pas d'un phénomène isolé et uniquement observable en laboratoire, mais d'un effet observable dans « la vie de tous les jours ». Il apparaît donc important de mettre en valeur la validité écologique des résultats. Effectivement, sans vouloir discréditer les études fondamentales, en voulant isoler les processus cognitifs au maximum, certaines études créent des situations qui ne sont pas le reflet des tâches de la vie courante. L'application de leurs résultats en dehors de ces situations expérimentales devient alors difficile. À cet égard, Tobin et collègues ont récemment mis en lumière le manque important d'études avec une certaine validité écologique dans le domaine de la perception temporelle, militant en faveur de tâches moins simplistes et plus longues (Bisson et al., 2012; Tobin et al., 2010). Cette idée est également véhiculée par de plus en plus de chercheurs (Matthews & Meck, 2014, Taatgen & van Rijn, 2011). Les études de la thèse, de par leur nature écologique, démontrent comment la MLT influence la perception temporelle au quotidien.

Cela dit, non seulement la thèse voulait-elle démontrer la présence de l'effet des connaissances propres à la durée dans la perception temporelle, mais une attention toute particulière était portée afin de quantifier comment, ou dans quel ordre de grandeur, ces connaissances améliorent la perception temporelle. Trois constats majeurs se dégagent en ce qui concerne la quantification de cet effet : (1) le fait que l'effet soit proportionnel (plus il y a de connaissances propres à la durée, plus la perception temporelle est précise), (2) la

présence de connaissances propres à la durée permettent l'atteinte d'une expertise temporelle, et (3) l'effet des connaissances propres à la durée est indépendant de l'exécution physique de la tâche.

6.1.2 Effet proportionnel

Tout d'abord, l'effet des connaissances propres à la durée sur la précision de l'estimation temporelle semble assez proportionnel. Plus il y a de connaissances propres à la durée, plus la perception temporelle est précise. Cette conclusion a été obtenue autant avec un devis intersujet (avec les coureurs) qu'avec un devis intrasujet (les nageurs). En effet, dans l'expérience rapportée dans le deuxième article, les coureurs experts avaient une perception (tant au niveau de la prédiction que de l'estimation) temporelle plus précise que les coureurs d'un moindre calibre. Le temps perçu est également positivement corrélé avec le niveau d'expérience des coureurs, ce qui

À l'opposé, dans le premier article, les expériences menées avec des nageurs ont rapporté trois types de comparaison intrasujet: entre des tâches pour lesquelles l'entraînement était plus ou moins important (Expérience 1), entre une situation qui permet l'accès aux connaissances propres à la durée et une qui l'empêche (Expérience 2), et entre la visualisation d'une tâche connue et une inconnue (Expérience 3). Dans ces trois cas, la présence ou l'accès à l'information contenue en MLT a donné lieu à une perception temporelle plus précise : plus il y avait des connaissances propres à la durée, plus précise était l'estimation. Ainsi, dans les expériences réalisées, peu importe la nature de la comparaison ou le devis intra/inter sujets, la précision de l'estimation temporelle était directement reliée à la quantité/accès de l'information en MLT, d'où la présence d'un effet proportionnel (plus il y a de connaissances propre à la durée, plus la perception temporelle est précise). La robustesse de ce constat est encore à souligner, ce constat ayant été appuyé de plusieurs façons expérimentales. Ce constat contraste notamment avec l'étude de Jones & Wearden (2003; voir la section 2.2.1) n'ayant pas obtenu d'amélioration de la perception temporelle en augmentant le nombre de présentations de la durée cible lors d'une tâche de discrimination (2003; voir la section 2.2.1)

et démontre ainsi l'importance de dissocier les tâches de discrimination et de quantification lorsque vient le temps d'étudier le rôle de la MLT.

6.1.3 Expertise temporelle

Le point précédent démontre un effet proportionnel, voire presque linéaire : plus il y a d'information en mémoire, plus l'estimation temporelle est précise. Mais jusqu'à quel point la perception temporelle peut-elle être précise? L'estimation temporelle s'avère en fait souvent imprécise, comme en fait foi un court survol de la littérature à ce sujet (par exemple, voir Roy & Christenfeld, 2008; Tobin et al., 2012).

En effet, comparé à ce qui est généralement obtenu dans la littérature (pour des tâches supérieures à 30s), les expériences de cette thèse démontrent une très grande précision temporelle de la part des athlètes. En effet, des ratios si proches de 1 (soit la perfection) sont très rares dans la littérature. Cela suggère la présence d'une expertise temporelle chez les participants aux expériences de la thèse. Autrement dit, au fil de leurs nombreuses séances d'entraînement, les athlètes acquièrent des connaissances par rapport à la durée de leur activité sportive leur permettant d'atteindre un niveau de précision en estimation temporelle nettement supérieure à la moyenne (en l'occurrence, une expertise). Un autre facteur pourrait contribuer à cette expertise, soit la probabilité que les athlètes experts aient une moins grande variabilité dans leurs performances sportives. La tâche aurait donc une durée moins variable, et comme le démontrait l'étude de Yarmey (2000), une tâche à durée variable est estimée de façon plus précise.

En effet, dans la littérature scientifique reliée au sport, bon nombre d'études se penchent sur l'expertise. Étudier comment l'expertise s'acquiert permet de déterminer pourquoi et comment un expert devient supérieur à un novice. Dans le cadre du sport, la démonstration de l'expertise a été faite à propos de plusieurs tâches psychomotrices telles que la détection de stimuli visuels ou la rapidité de la réponse (Calvo-Merino, Ehrenberg, Leung, & Haggard, 2010; Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007), mais pas directement au niveau de l'estimation de la durée. Les expériences réalisées mettent donc en lumière le

développement d'une expertise temporelle chez l'athlète dont la performance sportive est chronométrée: au cours de ses nombreuses séances d'entraînement, l'athlète acquiert des connaissances temporelles favorisant la précision de ses estimations temporelles. Ces informations leur permettent même d'atteindre un niveau de perception temporelle très précis, faisant d'eux des « experts temporels » (surtout si comparé à la précision obtenue de manière générale en perception temporelle).

6.1.4. Un effet indépendant du mouvement

Une autre contribution intéressante réside dans le fait que, bien qu'elle puisse aider, l'exécution du mouvement ne semble pas nécessaire pour obtenir une amélioration de la perception temporelle lorsque les connaissances propres à la durée sont employées. Notamment, la troisième expérience du premier article (visualisation) démontre que de visualiser la tâche entraînée permet d'améliorer la perception temporelle par rapport à la visualisation d'une tâche non entraînée. Cette démonstration est particulièrement importante, car elle confirme qu'il s'agit bel et bien d'un effet mnésique et non d'un artefact moteur; les autres expériences exigeaient un déplacement physique de la part des athlètes. Cette expérience de visualisation avait été ajoutée dans le but précis de démontrer que l'amélioration de la perception temporelle en présence de connaissances propres à la durée est bel et bien attribuable à la présence desdites connaissances, et non pas au simple déplacement physique. Cette expérience confirme ainsi que l'exécution du mouvement, bien qu'aidante, n'est pas essentielle pour que les connaissances propres à la durée améliorent la perception temporelle. Cette conclusion est cohérente avec les études sur l'imagerie mentale (voir Guillot et Collet, 2005) qui démontrent que la perception temporelle d'une tâche, qu'elle soit exécutée ou visualisée, demeure assez similaire. Les résultats de cette expérience, combinés aux autres études sur l'imagerie mentale (Guillot et Collet, 2005), suggèrent que le rôle de l'attention devrait être redéfini, ou du moins, modéré par d'autres facteurs comme les connaissances propres à la durée. Ce point sera d'ailleurs abordé en traitant de la notion de pondérateur mnésique (voir section 6.4)

Pour conclure, le premier objectif de la thèse est nettement satisfait. Si l'introduction laissait présager que les connaissances propres à la durée favorisent la perception temporelle, les expériences réalisées documentent cet effet de façon cohérente d'une expérience à l'autre, et dans des contextes écologiques de surcroît.

6.2. Deuxième objectif : Comment la mémoire interagit avec les autres mécanismes de la perception temporelle

Le deuxième objectif de la présente thèse était d'explorer comment la mémoire interagit avec un autre mécanisme de la perception temporelle, soit l'attention. L'attention étant le mécanisme cognitif le plus étudié et le plus impliqué dans la perception temporelle (Brown, 1997), l'objectif était de déterminer comment les connaissances propres à la durée et l'attention collaborent, information essentielle à avoir afin de modéliser *comment* les connaissances propres à la durée peuvent s'intégrer aux modèles théoriques de la perception temporelle.

Comme il en était question dans l'introduction, l'implication de l'attention dans la perception temporelle est souvent étudiée dans un paradigme de double tâche (Boltz, 1991; Brown, 1997, 2006) impliquant l'exécution d'une tâche temporelle et d'une tâche secondaire (ou distraction). La tâche secondaire (non temporelle) a pour but de réduire la quantité de ressources attentionnelles pouvant être allouées à la tâche temporelle. Dans de telles circonstances, la précision de l'estimation temporelle est nettement réduite; ce phénomène robuste est bien documenté et porte le nom d'effet d'interférence (Brown, 2008). Ainsi, la double tâche a été employée dans les expériences de la thèse afin d'évaluer comment les connaissances propres à la durée affectent l'effet d'interférence.

La deuxième expérience (article 1) dans laquelle les nageurs devaient produire 36s de nage ciblait spécifiquement cet objectif. En l'absence de tâche secondaire, les nageurs percevaient le temps de façon similaire, peu importe s'ils avaient accès à leur MLT (nager normalement) ou s'ils n'y avaient pas accès (nager attaché au mur). Par contre, l'ajout de la tâche secondaire n'a pas affecté la production temporelle lorsque les nageurs avaient accès à

leur MLT mais a grandement nui à la production lorsque les nageurs n'avaient pas accès à leur MLT. Autrement dit, lorsque les connaissances propres à la durée contenues en MLT étaient accessibles, l'ajout d'une tâche secondaire exigeante n'a pas provoqué d'effet d'interférence. À l'opposé, lorsque la modification du contexte empêchait les nageurs d'avoir accès à leur information en mémoire, l'ajout d'une tâche a grandement nui à la précision de la production temporelle. Ainsi, cette expérience démontre que la présence de connaissances propres à la durée permet d'empêcher l'interférence causée par une tâche secondaire. Cette observation est une avancée importante dans la modélisation de la perception temporelle, puisque c'est la première expérience empirique qui démontre qu'il est possible d'empêcher l'effet d'interférence, effet qui a pourtant été obtenu près de 100 fois (Brown, 2008). Les études effectuées suggèrent donc que les connaissances propres à la durée soient un mécanisme relativement indépendant de la quantité d'attention portée au temps. Place maintenant au troisième objectif.

6.3. Troisième objectif : explorer le mécanisme d'action

Alors que le premier objectif était de démontrer que les connaissances propres à la durée améliorent la perception temporelle, le troisième objectif, davantage exploratoire, était de décrire *comment* cela est rendu possible. Il s'agissait d'étudier le mécanisme d'action par lequel les connaissances propres à la durée améliorent la perception temporelle. Il était d'ailleurs impératif d'explorer la relation attention-MLT avant d'y arriver. Sur la base de l'étude de Yarmey (2000), une hypothèse avait été avancée. Cette étude démontre que les tâches ayant une durée relativement invariable (comme un cycle de sècheuse) sont estimées de façon plus précise que les tâches avec une durée hautement variable (comme aller au restaurant). En ayant une durée assez constante, il serait plus facile d'apprendre un intervalle des possibles restreint (faible écart entre les durées minimale et maximale généralement observées) pour une tâche invariable. Cet intervalle serait utile afin de restreindre l'étendue possible de la durée à estimer en la contenant entre des bornes minimales et maximales moins étendues, diminuant ainsi le risque d'avoir un jugement temporel erroné. Ainsi, l'hypothèse que la mémoire fournirait un intervalle des possibles plus restreint a été avancée.

Cette hypothèse est soutenue par la première expérience (estimation de la durée de 100m de nage). Les résultats mettent en lumière un intervalle des possibles plus court pour une tâche plus entraînée. Effectivement, l'intervalle fourni par les nageurs était significativement plus court pour la tâche la mieux entraînée que pour la tâche moins entraînée. De façon similaire, l'estimation temporelle de la tâche la mieux entraînée était plus précise. Cette étude démontrait donc clairement que lorsqu'une tâche est bien entraînée et est perçue de façon précise, l'intervalle des possibles pour cette tâche sera plus court. Par contre, cette étude ne permettait pas de faire l'inférence que c'est cet intervalle de confiance plus court qui *cause* la plus grande précision de l'estimation temporelle. D'autres facteurs, comme la variabilité de la tâche, devront être contrôlés lors d'études subséquentes afin d'en arriver à un lien causal.

Bien que cette limite doive être soulevée, la démonstration que l'intervalle des possibles diminue en présence de plus de connaissances propres à la durée demeure un argument convaincant en faveur de l'hypothèse avancée. En soi, un intervalle des possibles plus restreint n'est qu'une description de la trace mnésique contenue en MLT, il ne s'agit pas à proprement parler d'un mécanisme. C'est pour cette raison que la notion de pondérateur mnésique a été avancée, pour faire le pont entre l'hypothèse d'un court intervalle des possibles et l'effet des connaissances propres à la durée, tout en s'intégrant aux différents modèles théoriques. Cette proposition sera décrite dans la section qui suit.

6.4 Pondérateur mnésique

Tout d'abord, certains résultats issus des présentes recherches laissent présager que, sans être entièrement indépendant, l'effet des connaissances propres à la durée interviendrait à un autre niveau que l'attention. En effet, la MLT semble intervenir davantage à un niveau décisionnel (voir section 2.3.3). Deux constats, contrastant notamment avec la littérature sur le rôle de l'attention dans la perception du temps (Brown, 2008), permettent de faire cette affirmation : (1) Visualiser une tâche connue, même si cela exige de l'attention, semble aider la perception temporelle et (2) l'accès à des connaissances temporelles compense l'ajout d'une double tâche. En effet, étant donné l'apparence d'indépendance entre l'effet de la MLT et de

l'attention, le rôle de la MLT pourrait être de pondérer ou d'ajuster le jugement temporel. Cette hypothèse se modélise mieux en présentant deux mécanismes distincts : *l'horloge interne* et le *pondérateur mnésique*.

6.4.1 Horloge interne

Différentes propositions théoriques, comme la SET ou l'attentional-gate model, postulent l'existence d'une horloge interne. Or, bien qu'il existe différentes conceptualisations de cette horloge interne, la description exacte de celle-ci importe peu dans le cadre de cette discussion. En effet, ce qui est important à mettre de l'avant, c'est la présence de mécanismes actifs dans la perception temporelle, mécanismes permettant de monitorer ou chronométrer le temps via une sorte « d'accumulation temporelle ». Donc, pour la discussion suivante, nous allons simplement appeler « horloge interne » tout mécanisme actif permettant de « mesurer » l'impression temporelle. L'attention fait évidemment partie de ces mécanismes.

6.4.2 Le pondérateur mnésique

La proposition du pondérateur mnésique est fort simple. La mémoire serait utilisée afin de pondérer ou améliorer la perception de l'horloge interne. Autrement dit, le pondérateur mnésique prendrait la durée contenue dans l'horloge interne afin de la transformer et ainsi rendre cette dernière cohérente avec les connaissances propres à la durée pour cette tâche. Il peut paraître un peu simpliste de proposer deux mécanismes distincts de la sorte¹², mais la question suivante se pose. Par exemple, que ce passe-t-il dans un cas où la durée est toujours invariable, et que cette durée est apprise (par exemple, une émission qui dure toujours 60 minutes)? Si l'on demande au participant après l'émission, combien de temps cette émission a duré, comment le jugement temporel sera-t-il effectué? Selon le principe de parcimonie, il

¹² Étant donné les différentes conceptualisations de l'horloge interne selon l'approche théorique, présenter l'effet des connaissances propres à la durée comme étant un mécanisme à part a également l'avantage de s'adapter aux différents modèles d'horloge interne plutôt que de s'adapter à un seul.

serait tout à fait logique de croire que l'information contenue en MLT (« l'émission dure 60 minutes ») sera simplement rappelée de la MLT afin d'émettre le jugement temporel. Il serait bien surprenant que la personne utilise des ressources cognitives afin de monitorer activement la durée de l'émission. Dans cette optique où la MLT peut mener « directement » à un jugement temporel sans vraiment avoir recours à l'horloge interne, il est logique de présenter ces deux mécanismes de façon distincte, bien que les deux doivent agir de concert dans la plupart des cas.

À l'opposé, lorsqu'aucune information temporelle n'est contenue en mémoire, la MLT ne servirait que très peu, le jugement devant se fier exclusivement à l'horloge interne. Or, ces deux situations représentent les deux extrêmes, cas rares dans la vie de tous les jours. La partie intéressante est l'ensemble des nuances de gris entre ces deux pôles, c'est-à-dire les situations dans lesquelles des connaissances propres à la durée sont présentes en mémoire, et ce, à différents niveaux (c.-à-d., des connaissances plus ou moins précises). Le pondérateur se servirait alors des connaissances propres à la durée pour ramener la perception de l'horloge interne à l'intérieur des bornes reconnues comme la durée minimale et la durée maximale.

Voici un exemple : un participant a appris qu'une tâche dure toujours entre 10 et 12min et que, pour une raison quelconque comme la distraction cette journée-là, son horloge interne indique que la tâche n'a duré que 7 minutes. Dans un tel cas, le pondérateur ajusterait ce 7 minutes pour le faire cadrer avec l'intervalle des durées apprises. Probablement que plus les connaissances des durées sont précises et robustes, plus elles ont de « poids » dans la pondération. Autrement dit, dans l'exemple précédent, la force des connaissances propres à la durée pourrait déterminer si la pondération donne 8 min (connaissances plus faibles) ou 10 min (connaissances plus fortes). Cette caractéristique permettrait d'expliquer la nature proportionnelle de l'effet de la MLT observé dans les études de la thèse. Autrement dit, plus les connaissances propres à la durée seraient fortes et bien établies, plus on leur ferait confiance et plus on s'y fierait pour estimer le temps. La Figure 10 suivante illustre le mécanisme du pondérateur mnésique.



Figure 10. Illustration du pondérateur mnésique

Les deux carrés représentent l'horloge interne et le pondérateur mnésique alors que les deux flèches représentent la durée perçue. Le dégradé illustre la force des connaissances propres à la durée (noir = connaissances plus fortes). Le pondérateur mnésique pondère la durée de l'horloge interne; plus les connaissances sont fortes, plus la durée est pondérée, ce pour quoi la deuxième flèche a le même dégradé que le pondérateur mnésique. Cette durée mène ensuite au jugement temporel.

Les expériences de la thèse ne permettent pas de confirmer définitivement cette proposition théorique. Plusieurs autres études seront nécessaires afin d'établir un modèle complet. Toutefois, les résultats de la deuxième expérience du premier article (celle pendant laquelle les nageurs devaient produire 36s de nage) donnent de la crédibilité à cette proposition. En effet, la tâche secondaire employée (compter mentalement à rebours) est une tâche éprouvée, très exigeante en terme attentionnel et qui a généré des effets négatifs sur la perception temporelle dans plusieurs recherches (Brown, 2008) Cependant, lorsque les nageurs pouvaient se fier à leur MLT, l'ajout d'une telle tâche n'a eu aucun effet sur la perception temporelle, suggérant que pour cette tâche, la durée demandée était assez apprise pour ne pas recourir à une perception temporelle basée sur l'attention. Ainsi, si on pouvait avoir le décompte de l'horloge interne lors de cette tâche, il est fort probable que, considérant la forte demande de la tâche secondaire, la durée perçue par l'horloge interne soit sous la durée réelle (ou sous la durée qui a été produite par l'athlète). Or, connaissant bien leurs forces, les nageurs ont pondéré cette impression et ainsi été en mesure de livrer un jugement temporel précis, non affecté par la tâche attentionnelle secondaire.

Autre fait intéressant en la faveur de la proposition du pondérateur mnésique, l'étude de Ryan et al. (2004, voir la section 2.4.2) démontrent une certaine « supériorité » de la MLT

vis-à-vis du mécanisme attentionnel ou de l'horloge interne. Notamment, en cas de conflit entre les deux mécanismes (donc entre le compte final et l'information fournie par les rétroactions), les participants privilégiaient le contenu en MLT. Également, même lorsqu'ils étaient informés que les rétroactions reçues étaient biaisées, les participants ont continué à se fier au contenu de leurs rétroactions plutôt qu'à celui de leur horloge interne. Ainsi, si le contenu en mémoire semble privilégié au détriment du mécanisme attentionnel, c'est probablement une question de parcimonie : il est plus facile d'extraire la durée cible en mémoire que de chronométrer activement la durée. C'est aussi la raison pour laquelle le pondérateur mnésique est ajouté « par-dessus » l'horloge interne, soit à une étape ultérieure (décisionnelle) de la perception temporelle.

L'effet des connaissances propres à la durée est indépendant de l'effet de l'attention. Lorsqu'il y a suffisamment d'information en mémoire, l'ajout d'une tâche secondaire ne produit plus d'effet d'interférence.

6.5 Applications de la thèse

Les résultats de la présente thèse peuvent être appliqués à plusieurs situations courantes, en commençant par les situations sportives, bien entendu, mais également à tout ce qui touche la gestion de projets. En effet, pour plusieurs projets, les délais sont importants et il est impératif de savoir où ceux-ci en sont rendus afin de planifier correctement les étapes à venir et coordonner les différents intervenants appelés à jouer un rôle dans ces étapes. Ainsi, afin d'assurer un suivi optimal, une bonne prédiction temporelle semble un atout primordial pour un gestionnaire de projet. Or, les résultats de la thèse, en plus d'autres expériences disponibles dans la littérature (Roy et al, 2005; Burt & Kemp, 1994), peuvent donner espoir aux gestionnaires de projets en démontrant que la perception temporelle s'améliore avec la pratique. Ainsi, plus une personne compte d'heures d'entraînement, meilleure devient sa performance temporelle. Ce que les études démontrent, c'est qu'il est impératif d'estimer le temps de chaque projet. Par exemple, si, après chaque chantier, un contremaître responsable fait le bilan du temps consacré à chaque étape, il aura plus de connaissances propres à la durée en MLT pour la planification des futurs projets. Ainsi, il faut se servir de chaque projet

effectué comme d'une rétroaction permettant de préciser/acquérir des connaissances propres à la durée. De plus, en se basant sur l'étude avec les coureurs, certaines rétroactions sont plus efficaces que d'autres. Dans le cas des coureurs, la mesure de vitesse permettait de générer une formule permettant d'estimer le temps requis pour courir une distance. Or, ce genre de stratégie peut être appliqué à plusieurs projets. Par exemple, un bédéiste illustrant une bande dessinée de 54 pages pourrait calculer le temps moyen que prend une illustration. Par la suite, il n'aura qu'à compter le nombre d'illustrations à faire pour obtenir une prédiction temporelle plus précise du travail à accomplir.

6.6 Limitations et pistes de recherches futures

Les expériences de la thèse, comme toutes recherches, ont certaines limites qu'il importe de rappeler. Tout d'abord, en optant pour des tâches écologiques, le contrôle expérimental est moindre. En particulier, la nature exacte de l'information contenue en mémoire a été apprise par les participants avant l'expérience, aucun contrôle n'ayant été effectué. Les prochaines expériences en lien avec ce sujet devront donc tâcher de contrôler l'apprentissage des connaissances propres à la durée. Également, considérant le faible niveau de connaissances sur le sujet, les expériences de la thèse ont davantage été créées dans un but exploratoire, visant d'abord à quantifier l'effet des connaissances propres à la durée. Afin de pouvoir pleinement comprendre les mécanismes d'action de la MLT dans la perception du temps, d'autres études seront nécessaires et quelques suggestions sont décrites ci-dessous.

Tout d'abord, que se passerait-il lorsque la durée d'une tâche apprise change? Les expériences réalisées ont évalué comment la connaissance de la durée d'une tâche affecte la perception de la durée de cette tâche. Par contre, dans ces expériences, la tâche entraînée avait toujours sa durée « normale ». Que se passerait-il si on allongeait, à l'insu des participants, la durée de la tâche entraînée? Par exemple, si un participant s'entraîne à une tâche d'une durée de 10min, que se passerait-il si, lors d'une phase post-test, la durée de la tâche était allongée à 20 minutes? Est-ce que les participants ajusteraient leur perception temporelle? Si oui, dans quelle mesure? Autrement dit, à partir de quand un participant serait-il en mesure de détecter que la tâche en cours est plus longue que la normale? Dans ce

contexte, quelle sera l'influence de la durée apprise, en comparaison avec un participant exécutant la tâche pour la première fois? Bref, plusieurs questions intéressantes concernent l'influence de la mémoire lorsque la durée à estimer ne concorde pas avec la durée apprise. Également, certaines études démontrent que l'EEG permet de détecter le processus « d'accumulation temporelle » (via la CNV, voir Ng, et al. 2011) Or, un devis expérimental combinant l'usage de l'EEG et l'emploi d'une tâche comportant des connaissances propres à la durée serait intéressant et permettrait de mettre en contraste l'horloge interne (la CNV) et le pondérateur mnésique. En effet, si le temps estimé n'est pas le même que le sommet de la CNV, il s'agirait normalement d'un effet des connaissances propres à la durée; la perception de l'horloge interne (CNV) ayant été pondérée.

6.7 Résumé et conclusion

Cette thèse visait à décrire et comprendre l'effet des connaissances propre à la durée (soit toutes connaissances en lien avec la durée d'une tâche, stockées en MLT) sur la perception temporelle. La thèse démontre que les connaissances propres à la durée favorisent la perception temporelle dans une vaste étendue de situations temporelles (plusieurs tâches et durées), témoignant d'un effet assez robuste. Qui plus est, la présence de ces connaissances permet l'atteinte d'un niveau de précision temporelle des plus impressionnants (expertise) et cet effet n'est pas dépendant du mouvement.

L'hypothèse selon laquelle la MLT fournit un intervalle de confiance restreint afin de mieux guider l'estimation temporelle (en la limitant entre deux bornes restreintes) semble confirmée. En effet, en présence de fortes connaissances propres à la durée, l'intervalle de confiance était plus restreint. De plus, l'effet des connaissances propre à la durée semble indépendant du niveau d'attention disponible afin de monitorer le temps. Afin d'expliquer ces résultats, le pondérateur mnésique a été proposé, soit une structure responsable de modifier la perception temporelle de l'horloge interne afin que cette dernière cadre avec les connaissances propre à la durée.

Pour conclure, cette thèse visait à explorer et défricher le rôle de la MLT dans la perception temporelle. Les expériences réalisées permettent d'affirmer qu'il est nécessaire de reconsidérer le rôle de la MLT dans la perception temporelle; les connaissances qu'on acquiert au fil du temps, de répétition en répétition, sont transférées en mémoire et utilisées subséquemment pour percevoir le temps. Les modèles théoriques se basant sur des études isolant de courtes durées et des tâches inconnues (et non représentatives de la vie quotidienne) passent donc à côté de l'effet des connaissances propres à la durée. Plusieurs autres études seront nécessaires sur le sujet afin de tracer le portrait global de la MLT dans la perception temporelle. Pour saisir ce rôle pleinement, il semble toutefois crucial, comme le suggèrent plusieurs auteurs récemment (Matthews & Meck, 2014; Taatgen & Van Rijn, 2011, Tobin & al., 2011), de changer de paradigme : il faut sortir les expériences des laboratoires, ou surtout, modifier les tâches employées, souvent bien trop courtes ou simplistes.

Références

- Allan, L. G. (2002). Are the Referents Remembered in Temporal Bisection? [doi: DOI: 10.1006/Imot.2001.1097]. *Learning and motivation*, 33(1), 10-31.
- Allan, L. G., & Gerhardt, K. (2001). Temporal bisection with trial referents. *Perception & psychophysics*, 63(3), 524-540.
- Allan, L. G., & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and motivation*, 22(1-2), 39-58.
- Anderson, J. W., & Schmitter-Edgecombe, M. (2011). Recovery of time estimation following moderate to severe traumatic brain injury. [doi:10.1037/a0020333]. *Neuropsychology; Neuropsychology*, 25(1), 36-44.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes *The psychology of learning and motivation: II.*: Oxford, England: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (2000). Short-term and working memory *The Oxford handbook of memory*. (pp. 77-92): New York, NY, US: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 851-864.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Gunn, D. M. (2005). The relationship between short-term memory and working memory: Complex span made simple? *Memory*, 13(3), 414-421.
- Bisson, N., Tobin, S., & Grondin, S. (2012). Prospective and Retrospective Time Estimates of Children: A Comparison Based on Ecological Tasks. [doi:10.1371/journal.pone.0033049]. *PLoS ONE*, 7(3), e33049.
- Block, R. A. (1978). Remembered duration: Effects of event and sequence complexity. *Memory & cognition*, 6(3), 320-326.
- Block, R. A. (1982). Temporal judgments and contextual change. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8(6), 530-544.
- Block, R. A. (1986). Remembered duration: Imagery processes and contextual encoding. *Acta Psychologica*, 62(2), 103-122.
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. [doi: DOI: 10.1016/j.actpsy.2010.03.006]. *Acta Psychologica*, 134(3), 330-343.
- Block, R. A., & Reed, M. A. (1978). Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 4(6), 656-665.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic bulletin & review*, 4(2), 184-197.
- Boltz, M. (1991). Time estimation and attentional perspective. *Perception & psychophysics*, 49(5), 422-433.
- Boltz, M. G. (1998). The processing of temporal and nontemporal information in the remembering of event durations and musical structure. [doi:10.1037/0096-1523.24.4.1087]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(4), 1087-1104.
- Boltz, M. G., & Yum, Y. N. (2010). Temporal concepts and predicted duration judgments. *Journal of experimental social psychology*, 46(6), 895-904.

- Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2011). Lapsed attention to elapsed time? Individual differences in working memory capacity and temporal reproduction. [doi: 10.1016/j.actpsy.2011.03.008]. *Acta Psychologica*, *137*(1), 115-126.
- Brown, S. W. (1985). Time perception and attention: The effects of prospective versus retrospective paradigms and task demands on perceived duration. *Perception & psychophysics*, *38*(2), 115-124.
- Brown, S. W. (1997). Attentional resources in timing: Interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. *Perception & psychophysics*, *59*(7), 1118-1140.
- Brown, S. W. (2006). Timing and executive function: Bidirectional interference between concurrent temporal production and randomization tasks. *Memory & cognition*, *34*(7), 1464-1471.
- Brown, S. W. (2008). The attenuation effect in timing: Counteracting dual-task interference with time-judgment skill training. *Perception*, *37*(5), 712-724.
- Brown, S. W., & Boltz, M. G. (2002). Attentional processes in time perception: Effects of mental workload and event structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*(3), 600-615.
- Brown, S. W., & Stubbs, D. A. (1988). The psychophysics of retrospective and prospective timing. *Perception*, *17*(3), 297-310.
- Brown, S. W., & Stubbs, D. A. (1992). Attention and interference in prospective and retrospective timing. *Perception*, *21*(4), 545-557.
- Buehler, R., Griffin, D., & Ross, M. (1994). Exploring the "planning fallacy": Why people underestimate their task completion times. *Journal of personality and social psychology*, *67*(3), 366-381.
- Buehler, R., Peetz, J., & Griffin, D. (2010). Finishing on time: When do predictions influence completion times? [doi: DOI: 10.1016/j.obhdp.2009.08.001]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *111*(1), 23-32.
- Burt, C. D. B., & Kemp, S. (1994). Construction of activity duration and time management potential. *Applied Cognitive Psychology*, *8*(2), 155-168.
- Byram, S. J. (1997). Cognitive and motivational factors influencing time prediction. [doi:10.1037/1076-898X.3.3.216]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *3*(3), 216-239.
- Calvo-Merino, B., Ehrenberg, S., Leung, D., & Haggard, P. (2010). Experts see it all: Configural effects in action observation. [doi:10.1007/s00426-009-0262-y]. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *74*(4), 400-406.
- 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. [doi: DOI: 10.1016/j.psfr.2004.10.008]. *Psychologie Française*, *50*(1), 167-180.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*(3), 216-228.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 87-185.
- Damasceno, B. P. (1996). Time perception as a complex functional system: Neuropsychological approach. *International Journal of Neuroscience*, *85*(3-4), 237-262.
- Delgado, M. d. L., & Droit-Volet, S. (2007). Testing the representation of time in reference

- memory in the bisection and the generalization task: The utility of a developmental approach. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 60(6), 820-836.
- Droit-Volet, S., Clément, A., & Wearden, J. (2001). Temporal generalization in 3- to 8-year-old children. [doi:10.1006/jecp.2001.2629]. *Journal of experimental child psychology*, 80(3), 271-288.
- Droit-Volet, S., & Izaute, M. (2005). The effect of feedback on timing in children and adults: The temporal generalization task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 58A(3), 507-520.
- Droit-Volet, S., & Izaute, M. (2009). Improving time discrimination in children and adults in a temporal bisection task: The effects of feedback and no forced choice on decision and memory processes. [doi:10.1080/17470210802384180]. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 62(6), 1173-1188.
- Droit-Volet, S., & Rattat, A.-C. (2007). A further analysis of time bisection behavior in children with and without reference memory: The similarity and the partition task. *Acta Psychologica*, 125(2), 240-256.
- Droit-Volet, S., Tourret, S., & Wearden, J. (2004). Perception of the duration of auditory and visual stimuli in children and adults. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 57A(5), 797-818.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Federmeier, K. D. (2007). Event-related brain potentials: Methods, theory, and applications *Handbook of psychophysiology (3rd ed.)*. (pp. 85-119): New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Forsyth, D. K., & Burt, C. D. B. (2008). Allocating time to future tasks: The effect of task segmentation on planning fallacy bias. *Memory & cognition*, 36(4), 791-798.
- Fortin, C. (1999). Short-term memory in time interval production. [doi:10.1080/002075999399611]. *International Journal of Psychology; International Journal of Psychology*, 34(5-6), 308-316.
- Fortin, C., & Breton, R. (1995). Temporal interval production and processing in working memory. *Perception & Psychophysics; Perception & Psychophysics*, 57(2), 203-215.
- Fortin, C., & Rousseau, R. (1998). Interference from short-term memory processing on encoding and reproducing brief durations. [Article]. *Psychological Research*, 61(4), 269.
- Fraisse, P. (1971). L'apprentissage de l'estimation de la durée et ses repères. *L'Année Psychologique*, 371-379.
- Franssen, V., & Vandierendonck, A. (2002). Time estimation: does the reference memory mediate the effect of knowledge of results? [doi: DOI: 10.1016/S0001-6918(01)00059-2]. *Acta Psychologica*, 109(3), 239-267.
- Gallistel, C. R., & Gibbon, J. (2000). Time, rate, and conditioning. [doi:10.1037/0033-295X.107.2.289]. *Psychological Review*, 107(2), 289-344.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and motivation*, 22(1-2), 3-38.
- Gibbon, J., Church, R. M. and Meck, W. H. (1984), Scalar Timing in Memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423: 52-77. doi: 10.1111/j.1749-6632.1984.tb23417.x
- Gontier, E., Hasuo, E., Mitsudo, T., & Grondin, S. (2013). EEG investigations of duration discrimination: The intermodal effect is induced by an attentional bias. *PLOS ONE*, 8(8): e74073. doi:10.1371/journal.pone.0074073.
- Griffin, D., & Buehler, R. (2005). Biases and fallacies, memories and predictions:

- Comment on Roy, Christenfeld, and McKenzie (2005). *Psychological Bulletin*, 131(5), 757-760.
- Grondin, S. (2001). From physical time to the first and second moments of psychological time. *Psychological Bulletin*, 127(1), 22-44.
- Grondin, S. (2005). Overloading temporal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 869-879.
- Grondin, S. (2008). Methods for studying psychological time. Dans S. Grondin (Ed.). *Psychology of time* (pp. 51-74). Bingley, UK: Emerald Group Publishing.
- 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. (2012). Violation of the Scalar Property for Time Perception Between 1 and 2 Seconds: Evidence From Interval Discrimination, Reproduction, and Categorization. [doi:10.1037/a0027188]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 880-890. [doi:10.1037/a0027188].
- Grondin, S. & Laflamme, V. (2015). Stevens's law for time: A direct comparison of prospective and retrospective judgments. *Attention, Perception, & Psychophysics*.
- Grondin, S., Laflamme, V. & Mioni, G. (2015). Do not count too slowly: Evidence for a temporal limitation in short-term memory. *Psychonomic Bulletin & Review*.
- Grondin, S., & Plourde, M. (2007). Judging multi-minute intervals retrospectively. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(9), 1303-1312.
- Grondin, S., Pouthas, V., Samson, S., & Roy, M. (2006). Mécanismes et désordres liés à l'adaptation au temps. [Mechanisms and disorders related to the adaptation to time.]. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 47(3), 170-183.
- Hicks, R. E., & Miller, G. W. (1976). Transfer of Time Judgments as a Function of Feedback. *The American Journal of Psychology*, 89(2), 303-310.
- Hicks, R. E., Miller, G. W., & Kinsbourne, M. (1976). Prospective and retrospective judgments of time as a function of amount of information processed. *The American Journal of Psychology*, 89(4), 719-730.
- Jones, L. A., & Wearden, J. H. (2003). More is not necessarily better: Examining the nature of the temporal reference memory component in timing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 56B(4), 321-343.
- Jones, L. A., & Wearden, J. H. (2004). Double standards: Memory loading in temporal reference memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 57B(1), 55-77.
- Kinsbourne, M., & Hicks, R. E. (1990). The extended present: Evidence from time estimation by amnesics and normals *Neuropsychological impairments of short-term memory*. (pp. 319-330): New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Macar, F., Grondin, S., & Casini, L. (1994). Controlled attention sharing influences time estimation. *Memory & cognition*, 22(6), 673-686.
- Macar, F., & Vidal, F. (2003). The CNV peak: An index of decision making and temporal memory. [doi:10.1111/1469-8986.00113]. *Psychophysiology*, 40(6), 950-954.
- Macar, F., & Vidal, F. (2009). Timing processes: An outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models. [doi:10.1037/a0014457]. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 63(3), 227-239.

- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 29*(4), 457-478.
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. [doi: DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2004.06.012]. *Cognitive Brain Research, 21*(2), 139-170.
- Matell, M. S., Meck, W. H., & Nicolelis, M. A. L. (2003). Interval timing and the encoding of signal duration by ensembles of cortical and striatal neurons. *Behavioral neuroscience, 117*(4), 760-773.
- McClain, L. (1983). Interval estimation: Effect of processing demands on prospective and retrospective reports. *Perception & psychophysics, 34*(2), 185-189.
- McCormack, T., Brown, G. D. A., Maylor, E. A., Darby, R. J., & Green, D. (1999). Developmental changes in time estimation: Comparing childhood and old age. [doi:10.1037/0012-1649.35.4.1143]. *Developmental Psychology, 35*(4), 1143-1155.
- McCormack, T., Wearden, J. H., Smith, M. C., & Brown, G. D. A. (2005). Episodic temporal generalization: A developmental study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 58A*(4), 693-704.
- Meck, W. H., Penney, T. B., & Pouthas, V. (2008). Cortico-striatal representation of time in animals and humans. *Current opinion in neurobiology, 18*(2), 145-152.
- Melgire, M., Ragot, R., Samson, S., Penney, T. B., Meck, W. H., & Pouthas, V. (2005). Auditory/visual duration bisection in patients with left or right medial-temporal lobe resection. *Brain and cognition, 58*(1), 119-124.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*, 81-97.
- Mimura, M., Kinsbounre, M., & O'Connor, M. (2000). Time estimation by patients with frontal lesions and by Korsakoff amnesics. *Journal of the International Neuropsychological Society, 6*(05), 517-528.
- Montare, A. (1985). Learning effects of knowledge of results upon time estimation. *Perceptual and motor skills, 60*(3), 871-877.
- Montare, A. (1988). Further learning effects of knowledge of results upon time estimation. *Perceptual and motor skills, 66*(2), 579-588.
- Ng, K. K., Tobin, S., & Penney, T. B. (2011). Temporal Accumulation and Decision Processes in the Duration Bisection Task Revealed by Contingent Negative Variation. *Frontiers in Integrative Neuroscience, 5*(77) DOI=10.3389/fnint.2011.00077
- Ogden, R. S., & Jones, L. A. (2009). More is still not better: Testing the perturbation model of temporal reference memory across different modalities and tasks. *The Quarterly journal of experimental psychology, 62*(5), 909 - 924.
- Ogden, R. S., Wearden, J. H., & Jones, L. A. (2008). The remembrance of times past: Interference in temporal reference memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34*(6), 1524-1544.
- Ornstein, R. E. (1969). *On the experience of time*: Oxford, England: Penguin Books.
- Penney, T. B., Gibbon, J., & Meck, W. H. (2008). Categorical scaling of duration bisection in pigeons (*Columba livia*), mice (*Mus musculus*), and humans (*Homo sapiens*). *Psychological Science, 19*(11), 1103-1109.
- Penney, T. B., Meck, W. H., Roberts, S. A., Gibbon, J., & Erlenmeyer-Kimling, L. (2005).

- Interval-timing deficits in individuals at high risk for schizophrenia. *Brain and cognition*, 58(1), 109-118.
- Perbal, S., Pouthas, V., & Van der Linden, M. (2000). Time estimation and amnesia: A case study. *Neurocase: The Neural Basis of Cognition*, 6(4), 347 - 356.
- Predebon, J. (1999). Time judgments as a function of clock duration: Effects of temporal paradigm and an attention-demanding nontemporal task. *Perceptual and motor skills*, 88(3), 1251-1254.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2001). Variability in 5- and 8-year-olds' memory for duration: An interfering task in temporal bisection. [doi:10.1016/S0376-6357(01)00168-1]. *Behavioural Processes*, 55(2), 81-91.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005a). La mémoire à long terme des durées : fonctionnement et développement. [doi: DOI: 10.1016/j.psfr.2004.10.006]. *Psychologie Française*, 50(1), 99-116.
- Rattat, A. C., & Droit-Volet, S. (2005b). The long-term retention of time: A developmental study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 58B(2), 163-176.
- 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.
- Rodríguez-Gironés, M. A., & Kacelnik, A. (1998). Response latencies in temporal bisection: Implications for timing models *Time and the dynamic control of behavior*. (pp. 51-70): Ashland, OH, US: Hogrefe & Huber Publishers.
- Rodríguez-Gironés, M. A., & Kacelnik, A. (2001). Relative importance of perceptual and mnemonic variance in human temporal bisection. [doi:10.1080/02724980042000264]. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 54, 527-546.
- Roediger, H. L. I., II, Buckner, R. L., & McDermott, K. B. (1999). Components of processing: *Memory: Systems, process, or function?* (pp. 31-65): New York, NY, US: Oxford University Press.
- Rosenbaum, R. S., Köhler, S., Schacter, D. L., Moscovitch, M., Westmacott, R., Black, S. E., et al. (2005). The case of K.C.: Contributions of a memory-impaired person to memory theory. *Neuropsychologia*, 43(7), 989-1021.
- Roy, M. M., & Christenfeld, N. J. S. (2007). Bias in memory predicts bias in estimation of future task duration. *Memory and Cognition*, 35(3), 557-564.
- Roy, M. M., & Christenfeld, N. J. S. (2008). Effect of task length on remembered and predicted duration. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15(1), 202-207.
- Roy, M. M., Christenfeld, N. J. S., & McKenzie, C. R. M. (2005a). The broad applicability of memory bias and its coexistence with the planning fallacy: Reply to Griffin and Buehler (2005). *Psychological bulletin*, 131(5), 761-762.
- Roy, M. M., Christenfeld, N. J. S., & McKenzie, C. R. M. (2005b). Underestimating the duration of future events: Memory incorrectly used or memory bias? *Psychological bulletin*, 131(5), 738-756.
- Roy, M. M., Mitten, S. T., & Christenfeld, N. J. S. (2008). Correcting Memory Improves Accuracy of Predicted Task Duration. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(3), 266-275.
- Ryan, L. J., & Fritz, M. S. (2007). *Erroneous Knowledge of Results Affects Decision and Memory Processes on Timing Tasks* (Vol. 33). Washington, DC, ETATS-UNIS: American Psychological Association.

- Ryan, L. J., Henry, K., Robey, T., & Edwards, J. A. (2004). Resolution of conflicts between internal and external information sources on a time reproduction task: the role of perceived information reliability and attributional style. [doi: DOI: 10.1016/j.actpsy.2004.06.005]. *Acta Psychologica*, *117*(2), 205-229.
- Ryan, L. J., & Robey, T. B. (2002). Learning and performance effects of accurate and erroneous knowledge of results on time perception. [doi: DOI: 10.1016/S0001-6918(02)00044-6]. *Acta Psychologica*, *111*(1), 83-100.
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? *Memory systems 1994*. (pp. 1-38): Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Schmitter-Edgecombe, M., & Rueda, A. D. (2008). Time estimation and episodic memory following traumatic brain injury. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, *30*(2), 212-223.
- Shaw, C., & Aggleton, J. P. (1994). The ability of amnesic subjects to estimate time intervals. [doi: DOI: 10.1016/0028-3932(94)90023-X]. *Neuropsychologia*, *32*(7), 857-873.
- Taatgen, N., & van Rijn, H. (2011). Traces of times past: Representations of temporal intervals in memory. *Memory & cognition*, *39*(8), 1546-1560.
- Tarantino, V., Ehlis, A.-C., Baehne, C., Boreatti-Huemmer, A., Jacob, C., Bisiacchi, P., et al. (2010). The time course of temporal discrimination: An ERP study. [doi: 10.1016/j.clinph.2009.09.014]. *Clinical Neurophysiology*, *121*(1), 43-52.
- Thomas, K. E., & Handley, S. J. (2008). Anchoring in time estimation. *Acta Psychologica*, *127*(1), 24-29.
- Thomas, K. E., Handley, S. J., & Newstead, S. E. (2004). The effects of prior experience on estimating the duration of simple tasks. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, *22*(1), 83-100.
- Thomas, K. E., Handley, S. J., & Newstead, S. E. (2007). The role of prior task experience in temporal misestimation. *The Quarterly journal of experimental psychology*, *60*(2), 230-240.
- Thomas, K. E., Newstead, S. E., & Handley, S. J. (2003). Exploring the time prediction process: The effects of task experience and complexity on prediction accuracy. *Applied Cognitive Psychology*, *17*(6), 655-673.
- Tobin, S., Bisson, N., & Grondin, S. (2010). An Ecological Approach to Prospective and Retrospective Timing of Long Durations: A Study Involving Gamers. *PLoS ONE*, *5*(2), e9271.
- Tobin, S., & Grondin, S. (2009). Video games and the perception of very long durations by adolescents. *Computers in Human Behavior*, *25*, 554-559.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*(4), 385-398.
- Tulving, E. (1986). What kind of a hypothesis is the distinction between episodic and semantic memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *12*(2), 307-311.
- Tulving, E. (1989). Memory: Performance, knowledge, and experience. *European Journal of Cognitive Psychology*, *1*(1), 3-26.
- Tulving, E. (1991). Concepts of human memory *Memory: Organization and locus of change*. (pp. 3-32): New York, NY, US: Oxford University Press.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, *53*(1), 1-25.

- Tulving, E. (2007). Are There 256 Different Kinds of Memory? *The foundations of remembering: Essays in honor of Henry L. Roediger, III.* (pp. 39-52): New York, NY, US: Psychology Press.
- Tulving, E., & LePage, M. (2000). Where in the brain is the awareness of one's past? *Memory, brain, and belief.* (pp. 208-228): Cambridge, MA, US: Harvard University Press.
- Wearden, J. H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 43B(1), 59-81.
- Wearden, J. H. (1992). Temporal generalization in humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 18(2), 134-144.
- Wearden, J. H., & Bray, S. (2001). Scalar timing without reference memory? Episodic temporal generalization and bisection in humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 54B(4), 289-309.
- Wearden, J. H., & Ferrara, A. (1995). Stimulus spacing effects in temporal bisection by humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 48B(4), 289-310.
- Wearden, J. H., & Grindrod, R. (2003). Manipulating decision processes in the human scalar timing system. [doi: DOI: 10.1016/S0376-6357(02)00159-6]. *Behavioural Processes*, 61(1-2), 47-56.
- Wearden, J. H., & Lejeune, H. (2008a). Scalar properties in human timing: Conformity and violations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(4), 569-587.
- Wearden, J. H., & Lejeune, H. (2008b). Scalar properties in human timing: Conformity and violations. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 61(4), 569-587.
- Wearden, J. H., Smith-Spark, J., Cousins, R., Edelmystyn, N. M. J., Cody, F. W. J., & O'Boyle, D. J. (2008). Stimulus timing by people with Parkinson's disease. *Brain and cognition*, 67(3), 264-279.
- Williams, J. M., Medwedeff, C. H., & Haban, G. (1989). Memory disorder and subjective time estimation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11(5), 713 - 723.
- Yarmey, A. D. (2000). Retrospective Duration Estimations for Variant and Invariant Events in Field Situations. *Applied Cognitive Psychology*, 14(1), 45-57.
- Zakay, D. (1992a). On prospective time estimation, temporal relevance and temporal uncertainty *Time, action and cognition: Towards bridging the gap.* (pp. 109-117): New York, NY, US: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Zakay, D. (1992b). The role of attention in children's time perception. *Journal of experimental child psychology*, 54(3), 355-371.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1996). The role of attention in time estimation processes *Time, internal clocks and movement.* (pp. 143-164): Amsterdam, Netherlands: North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6(1), 12-16.
- Zakay, D., & Block, R. A. (2004). Prospective and retrospective duration judgments: An executive-control perspective. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64(3), 319-328.
- Zakay, D., Tsai, Y., Moses, M., & Shahar, I. (1994). The role of segmentation in

prospective and retrospective time estimation processes. *Memory & cognition*, 22(3), 344-351.