

BF
20.5
UL
2005
C521
C:3

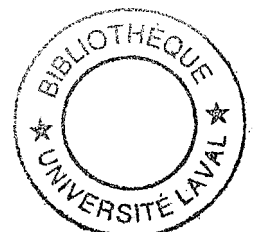
LOBNA CHÉRIF

**ENCODAGE ET REPRODUCTION D'INTERVALLES DE TEMPS :
INTERFÉRENCE DE TRAITEMENT NON TEMPOREL**

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat en psychologie
pour l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)

ÉCOLE DE PSYCHOLOGIE
FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

FÉVRIER 2005



Résumé court

Dans la présente étude, l'effet de traitement non temporel sur la tâche de reproduction d'intervalles de temps est testé dans quatre expériences. Trois tâches non temporelles nécessitant l'encodage ou la récupération d'information en mémoire ainsi qu'une tâche d'interruption d'estimation temporelle sont combinées à une tâche de reproduction temporelle nécessitant l'encodage et la reproduction de durées (environ 2 secondes). Les résultats obtenus révèlent que les tâches non temporelles affectent davantage la phase de reproduction que la phase d'encodage de durées suggérant ainsi que l'interférence du traitement non temporel avec la reproduction temporelle simultanée diffère selon que le traitement prenne place durant la phase d'encodage ou la phase de reproduction. Une hypothèse explicative est proposée selon laquelle l'interférence du traitement non temporel avec l'estimation temporelle concurrente varie selon les processus impliqués et les ressources requises dans les deux phases de la tâche temporelle. L'ensemble des résultats est interprété dans le cadre des modèles d'accumulation de l'information temporelle.

Résumé long

Plusieurs études récentes suggèrent l'existence d'une interférence lorsqu'un traitement non temporel est effectué en même temps qu'une tâche impliquant l'estimation d'un intervalle de temps. Cette interférence semble cependant être asymétrique lorsqu'une tâche en Mémoire à Court Terme (MCT) est combinée aux phases d'encodage et de reproduction de durées. En effet, dans une étude menée par Fortin et Rousseau (1998), le traitement en MCT semble interférer davantage avec la phase de reproduction qu'avec la phase d'encodage. L'étude de Fortin et Rousseau ne permet toutefois pas de conclure quant à l'origine de cette asymétrie.

Trois tâches en mémoire ainsi qu'une tâche d'interruption d'estimation temporelle sont combinées à une tâche de reproduction temporelle et leurs effets sur l'encodage sont comparés à leurs effets sur la reproduction de durées (environ 2 secondes). Dans les deux premières expériences, une tâche de récupération d'information en mémoire est combinée à la tâche de reproduction temporelle. Dans la troisième expérience, l'encodage d'information en mémoire est combiné à la tâche de reproduction temporelle. Finalement, l'encodage et la reproduction de durées cibles sont interrompus dans la quatrième expérience. En général, lorsque l'encodage ou la récupération d'information en mémoire sont combinés à la phase de reproduction, les durées reproduites sont positivement reliées à la charge en mémoire. En revanche, l'augmentation de la durée de traitement en mémoire n'a aucun effet sur les reproductions temporelles lorsque l'encodage et la récupération d'information en mémoire sont combinés à la phase d'encodage. Par ailleurs, les résultats obtenus dans la quatrième expérience révèlent que l'interruption de

l'estimation temporelle affecte davantage la phase de reproduction que la phase d'encodage de durées. Ces résultats confirment l'interférence asymétrique de traitement non temporel avec l'encodage et la reproduction temporels simultanés et suggèrent que cette interférence varie selon les processus spécifiques impliqués et les ressources requises dans les deux phases de la tâche temporelle. L'ensemble des résultats est interprété dans le cadre des modèles d'accumulation de l'information temporelle.

Avant-propos

J'aimerais exprimer ma gratitude à ma directrice de recherche, Dre Claudette Fortin, qui m'a accueillie au sein de son équipe de recherche et n'a cessé de me conseiller tout au long de ces études graduées. Je vous suis reconnaissante pour votre disponibilité et pour vos innombrables commentaires lors de la réalisation de ce projet. Votre passion pour la recherche et votre rigueur scientifique m'ont incité à réclamer le meilleur de moi-même.

Je remercie tous les membres du jury pour leur participation et pour le temps qu'ils auront consacré à la lecture de ce manuscrit.

Je remercie Dr François Doré et Dr Sébastien Tremblay, membres de mon comité de thèse, pour leurs commentaires constructifs formulés lors des discussions que nous avons eues pendant les séminaires de thèse. J'aimerais aussi exprimer mon profond respect au Dr Robert Rousseau, membre de mon comité de thèse et membre du jury. Je vous suis reconnaissante pour les discussions fructueuses que nous avons eues et qui m'ont permis de voir plus clair.

Je remercie le ministère tunisien de l'enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de la technologie pour son appui financier.

Je remercie toutes les personnes qui ont accepté de participer à cette étude et sans qui sa réalisation n'aura pas été possible.

Julie Champagne et Marie-Ève Jobidon, un grand merci pour vos précieuses marques d'affection et d'amitié et pour tous vos coups de main. Vous avez toujours su être là pour m'écouter et m'encourager. Je suis déjà nostalgique de nos grandes discussions parfois trop philosophiques, mais oh! combien enrichissantes.

Qu'il est précieux de se sentir entouré lorsqu'on est loin de chez soi !

Je remercie tous les membres du Groupe de Recherche en Psychologie Cognitive (GRPC), en particulier Isabelle Guay, François Vachon et Christian Watier. Vous m'avez tous permis de passer cinq années passionnantes dans ce deuxième sous-sol. Mon passage dans le GRPC restera gravé dans mon cœur et dans ma mémoire comme un des plus beaux moments de ma vie.

La réalisation de ces études graduées a été parsemée de défis personnels et professionnels que je n'aurais pas pu relever sans l'amour inconditionnel de ma famille.

Je remercie tous les membres de ma famille qui n'ont cessé de me soutenir et de me suivre dans cette aventure d'une manière ou d'une autre.

À mes parents que j'adore... L'accomplissement de cette thèse est le reflet de votre réussite. Je vous suis reconnaissante pour votre appui durant toutes ces années pour que je réalise mes rêves. Votre confiance en moi et votre conviction en mon potentiel m'ont donné l'énergie pour continuer. Vous savoir fiers de moi m'a toujours incité à aller plus loin.

Naceur, il m'est difficile en quelques mots de te dire ma gratitude et ma reconnaissance. Ton soutien moral et affectif, ta compréhension ainsi que ta patience ne m'ont jamais fait faille. Tu as su m'encourager, me consoler dans les moments plus difficiles et m'aider à surmonter les obstacles. Tu es ma boussole et ma vie est meilleure depuis que tu en fais partie.

Table des matières

Résumé court	i
Résumé long.....	ii
Avant-propos.....	iv
Table des matières.....	vi
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	xii
1. Introduction générale	1
1.1. Introduction.....	1
1.2. Paradigmes de jugement temporel	3
1.3. Méthodes d'estimation temporelle.....	5
1.3.1. La généralisation temporelle.....	6
1.3.2. La bisection temporelle	6
1.3.3. La discrimination temporelle	7
1.3.4. La production temporelle.....	8
1.3.5. La reproduction temporelle.....	8
1.4. Modèles théoriques d'estimation temporelle	10
1.4.1. Le modèle attentionnel d'estimation temporelle.....	10
1.4.2. Le modèle de Treisman.....	11
1.4.3. Le modèle de traitement d'information temporelle	12
1.4.4. Le modèle de barrière attentionnelle.....	18
1.4.5. La théorie behaviorale de timing	22
1.4.6. Le modèle connexionniste	23

1.5. Les bases neurologiques de l'estimation temporelle.....	26
1.6. Estimation temporelle et traitement non temporel.....	29
1.6.1. Estimation temporelle et attention	30
1.6.2. Estimation temporelle et mémoire	33
1.6.3. Estimation temporelle et interruption du traitement temporel.....	38
1.7. Objectifs et hypothèses	42
2. Méthode générale.....	46
2.1. Participants.....	46
2.2. Appareils et stimuli	47
2.3. Procédure	47
2.4. Résultats.....	49
3. Expériences	50
3.1. Expérience 1.....	50
3.1.1. Participants.....	50
3.1.2. Stimuli.....	51
3.1.3. Procédure	51
3.1.4. Résultats et discussion	53
3.2. Expérience 2.....	60
3.2.1. Participants.....	60
3.2.2. Stimuli.....	60
3.2.3. Procédure	61
3.2.4. Résultats et discussion	63
3.3. Expérience 3.....	71

3.3.1. Participants.....	71
3.3.2. Stimuli.....	72
3.3.3. Procédure	72
3.3.4. Résultats et discussion	74
3.4. Expérience 4.....	79
3.4.1. Participants.....	80
3.4.2. Stimuli.....	81
3.4.3. Procédure	81
3.4.4. Résultats et discussion	82
4. Discussion générale, conclusions et propositions de recherche.....	87
4.1. Propositions de recherches futures.....	98
Références.....	101
Présentation des figures	129

Liste des tableaux

Tableau 1. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 1).</i>	112
Tableau 2. <i>Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'item dans un paradigme de TR (Expérience 1).</i>	112
Tableau 3. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 1 : RM / ET).</i>	113
Tableau 4. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 1 : RM / RT).</i>	113
Tableau 5. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 1 : RM / ET).</i>	114
Tableau 6. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 1 : RM / RT).</i>	115
Tableau 7. <i>Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire (Expérience 1 : RM / ET).</i>	116
Tableau 8. <i>Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire (Expérience 1 : RM / RT).</i>	116
Tableau 9. <i>Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'ordre temporel dans un paradigme de TR (Expérience 2).</i>	117

Tableau 10. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 2).</i>	117
Tableau 11. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 2 : RM / ET).</i>	118
Tableau 12. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 2 : RM / RT).</i>	118
Tableau 13. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 2 : RM / ET).</i>	119
Tableau 14. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 2 : RM / RT).</i>	120
Tableau 15. <i>Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'ordre spatial dans un paradigme de TR (Expérience 3).</i>	121
Tableau 16. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 3).</i>	121
Tableau 17. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 3 : EM / ET).</i>	122
Tableau 18. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 3 : EM / RT).</i>	122

Tableau 19. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 3 : EM / ET).</i>	123
Tableau 20. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 3 : EM / RT).</i>	124
Tableau 21. <i>Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 4).</i>	125
Tableau 22. <i>Moyennes (écart-types) des reproductions temporelles (en ms) pour chacune des trois durées et des deux localisations d'interruption (Expérience 4 : I / ET).</i>	125
Tableau 23. <i>Moyennes (écart-types) des reproductions temporelles (en ms) pour chacune des trois durées et des deux localisations d'interruption (Expérience 4 : I / RT).</i>	126
Tableau 24. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la localisation de l'interruption, de sa durée et des durées à reproduire (Expérience 4 : I / ET).</i>	127
Tableau 25. <i>Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la localisation de l'interruption, de sa durée et des durées à reproduire (Expérience 4 : I / RT).</i>	128

Liste des figures

<i>Figure 1.</i> Illustration schématique du modèle de traitement d'information temporelle de Church (1984).	141
<i>Figure 2.</i> Illustration schématique du modèle de barrière attentionnelle de Zakay et Block (1996).	142
<i>Figure 3a.</i> Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels dans une tâche de reproduction d'intervalles temporels.	143
<i>Figure 3b.</i> Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche en mémoire simultanément à la phase d'encodage d'un intervalle temporel.	144
<i>Figure 3c.</i> Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche en mémoire simultanément à la phase de reproduction d'un intervalle temporel.	145
<i>Figure 4.</i> Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors d'un essai de production temporelle interrompue.	146
<i>Figure 5a.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 1 (Sessions 1 et 2).	147
<i>Figure 5b.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 1 (Sessions 3 et 4).	148
<i>Figure 6.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire (Expérience 1).	149
<i>Figure 7.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions (Expérience 1).	149

<i>Figure 8a.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 2 (Blocs 1 et 2).	150
<i>Figure 8b.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 2 (Blocs 3 et 4).	151
<i>Figure 9.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire (Expérience 2).	152
<i>Figure 10.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions (Expérience 2).	152
<i>Figure 11a.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 3 (Blocs 1 et 2).	153
<i>Figure 11b.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 3 (Blocs 3 et 4).	154
<i>Figure 12.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire (Expérience 3).	155
<i>Figure 13.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions (Expérience 3).	155
<i>Figure 14.</i> Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 4.	156
<i>Figure 15.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la durée reproduite et des localisations de l'interruption (Expérience 4, durée 2000 ms).	157
<i>Figure 16.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la durée reproduite et des localisations de l'interruption (Expérience 4, durée 2400 ms).	157
<i>Figure 17.</i> Moyennes des reproductions temporelles en fonction de la durée reproduite et des localisations de l'interruption (Expérience 4, durée 2800 ms).	158

Figure 18. Moyennes des reproductions temporelles en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions (Expérience 4). 158

Figure 19. Illustration schématique des processus d'accumulation et de comparaison des indices temporels lors de l'encodage et de la reproduction d'intervalles temporels. 159

Figure 20. Illustration schématique du modèle de traitement d'information temporelle de Church (1984) adapté aux phases d'encodage et de reproduction d'intervalles. 160

Figure 21. Illustration schématique des processus d'accumulation et de comparaison des indices temporels lors de l'encodage et de la reproduction d'intervalles temporels. 161

1. Introduction générale

1.1. Introduction

La perception et l'estimation du temps constituent l'une des propriétés les plus fondamentales aux comportements des animaux non humains et humains grâce à laquelle ils peuvent, entre autres, s'adapter à leurs milieux. Cette propriété semble être sensible à plusieurs facteurs cognitifs tels que l'attention ou la mémoire ainsi que physiologiques tels que le niveau d'activation, le rythme circadien ou la température corporelle (Wearden & Culpin, 1998; Wearden & Penton-Voak, 1995; Zakay, 1990; Zakay & Block, 1996).

L'effet de la variation de la température corporelle sur l'estimation temporelle est un exemple intéressant des variations du temps subjectif selon l'état de l'observateur.

François (1927, cité par Burle & Casini, 2001) a été le premier à étudier cet effet sur l'estimation temporelle. Il a rapporté que la température interne peut être un facteur de variation de l'appréciation subjective d'une durée. Dans une étude menée avec des participants qui devaient effectuer une tâche de frappe cadencée, François a observé que l'augmentation de la température corporelle de ceux-ci, par le biais de l'application d'un courant électrique diathermique, produit une accélération du rythme des frappes produites et affecte ainsi les jugements temporels émis. Plus tard, Hoagland (1933) a observé que le rythme de comptage de son épouse, qui souffrait de fortes fièvres grippales, était plus rapide lorsque la température de celle-ci augmentait. Hoagland conclut à la présence d'un mécanisme temporel interne (sorte d'horloge interne) qui était dérégulé lorsque la température corporelle de son épouse augmentait.

Par la suite, plusieurs études ont été menées et ont eu recours à différentes méthodes plus ou moins insolites (chambres expérimentales surchauffées ou immersion des

participants dans des bains d'eau plus ou moins chaude) pour manipuler la température corporelle des participants et examiner leurs comportements temporels (voir Wearden & Penton-Voak, 1995, pour une revue complète). Une forte relation entre l'estimation temporelle et la température corporelle a été observée. Un effet systématique de cette dernière sur les jugements temporels des participants a été obtenu : les températures les plus élevées produisent les durées subjectives les plus longues. Une des hypothèses proposées pour expliquer cet effet est que la manipulation de la température produit une modification du niveau d'activation physiologique (*arousal*) des participants qui affecte leur perception temporelle. Une température corporelle élevée produit un niveau d'activation élevé et mène à un rythme temporel accéléré.

Plus tard, des chercheurs comme Hicks, Miller et Kinsbourne (1976) ont essayé de lister et de catégoriser les facteurs qui peuvent influencer la mesure du temps subjectif. Selon Hicks et al. (1976), l'estimation d'une durée peut être sensible à la méthode d'estimation temporelle utilisée, à la durée de l'intervalle à juger et au paradigme d'estimation dans lequel est placée une personne qui doit effectuer un jugement temporel.

Le présent document est structuré en deux parties. La première partie constitue une revue exhaustive de la littérature sur l'estimation temporelle : paradigmes de jugements temporels, méthodes et modèles théoriques les plus utilisés aujourd'hui dans la recherche cognitive sur le temps, études des bases neurologiques de l'estimation temporelle et effets de traitement non temporel sur l'estimation temporelle. Cette revue de la littérature a pour objectif d'introduire les termes, concepts et méthodologies auxquels nous ferons référence dans la présentation de la problématique et l'interprétation des résultats obtenus dans le cadre de la présente thèse. L'introduction des termes et concepts dans la

recherche sur l'estimation du temps est suivie par la présentation des objectifs et hypothèses de la présente thèse. La deuxième partie du document est consacrée à la description de la méthodologie générale des expériences effectuées, des résultats obtenus et à la discussion de ces résultats.

1.2. Paradigmes de jugement temporel

Plusieurs études ont montré que le paradigme dans lequel est effectué le jugement temporel peut être un facteur majeur qui peut influencer ce jugement. Par exemple, Hicks et al. (1976) ont mené une étude dans laquelle le participant devait effectuer une tâche non temporelle qui consistait à trier des cartes selon des règles de complexité variée pendant un intervalle de temps à estimer. Le participant était placé dans deux paradigmes de jugement temporel différents, à savoir un paradigme de jugement prospectif et un paradigme rétrospectif.

Dans la condition prospective, l'expérimentateur avertissait le participant à l'avance qu'il devait estimer la durée d'un intervalle cible ou d'une tâche. Dans la condition rétrospective, le jugement temporel était demandé à la suite de la présentation de l'intervalle ou de l'exécution de la tâche sans que le participant n'ait été prévenu d'avance qu'il aurait à estimer cette durée. Les résultats ont montré que dans la situation de jugement prospectif, les intervalles temporels étaient estimés plus courts lorsque la complexité de la tâche non temporelle traitée pendant l'intervalle augmente. Par contre, les jugements temporels émis dans la situation rétrospective n'étaient pas affectés par l'augmentation de la complexité de la tâche concurrente effectuée.

De nombreuses études ont ensuite confirmé la distinction entre les mécanismes d'estimation temporelle en fonction du paradigme utilisé. Selon différents auteurs (e.g.,

Block, 1990; Casini & Macar, 1999; Hicks et al., 1976; Zakay, 1990, 1998), les processus cognitifs ainsi que les traitements impliqués dans les jugements prospectifs et rétrospectifs ne sont pas les mêmes. Lorsqu'un jugement temporel prospectif est effectué, l'attention doit être portée au temps et les ressources en Mémoire à Court Terme (MCT) sont sollicitées. Si une tâche non temporelle est effectuée parallèlement à la tâche de jugement temporel, l'attention est délibérément partagée entre ces deux tâches. Lorsque la distraction engendrée par la tâche non temporelle augmente, la quantité d'attention allouée à la tâche temporelle diminue, d'où la sous-estimation de la durée de l'intervalle. Dans un paradigme rétrospectif, le jugement d'une durée s'appuie davantage sur la mémoire des événements survenus pendant cette période et emmagasinés en Mémoire à Long Terme (MLT) que sur l'attention allouée à la durée. En effet, dans un jugement rétrospectif, l'attention est plutôt accordée au traitement de l'information non temporelle ce qui mène à une plus grande capacité d'emmagasinage de cette information et à une surestimation des durées.

Ainsi, selon le paradigme utilisé, les processus cognitifs impliqués dans le jugement temporel sont différents. Il est à noter que les expériences rapportées ainsi que les expériences menées dans le cadre de la présente thèse ont été effectuées dans un paradigme de jugement temporel prospectif.

Outre le paradigme dans lequel le jugement est effectué, plusieurs études ont montré que l'estimation temporelle peut aussi être sensible à la méthode d'estimation temporelle utilisée. En effet, selon Zakay (1990), les différentes méthodes activent différents processus liés à la perception temporelle et mènent à différentes réponses.

1.3. Méthodes d'estimation temporelle

Le temps subjectif est une entité qui ne peut pas être séparée de sa mesure (Zakay, 1990). Plusieurs méthodes d'estimation temporelle ont été élaborées et varient selon plusieurs aspects tels que leur complexité, les processus et les ressources qui y sont impliqués (attention ou mémoire) et le paradigme de jugement temporel dans lequel elles peuvent être utilisées (prospectif ou rétrospectif). Comme les paradigmes de jugement, ces méthodes peuvent impliquer différents types de traitements, représenter et faire appel à différents processus. Même si ces méthodes sont différentes, aucune d'entre elles ne peut être considérée comme supérieure à une autre (Allan, 1979).

La présente section est consacrée à la description des méthodes qui sont les plus fréquemment rencontrées dans la littérature sur la perception temporelle. La plupart de ces méthodes ont d'abord été essentiellement utilisées avec des animaux non humains dans un paradigme de jugement prospectif. Par la suite, des auteurs tels que Wearden (1991, 1992) ainsi que Allan et Gibbon (1991) ont dérivé ces méthodes pour les utiliser avec des participants humains. Le recours aux méthodes utilisées avec des animaux non humains pour étudier l'estimation temporelle chez l'humain peut mener à une compréhension plus générale et plus approfondie des processus qui y sont impliqués et des similarités qui existent entre les animaux non humains et humains lorsqu'il s'agit d'exécuter des tâches temporelles. Il permet aussi l'utilisation des analyses et modèles théoriques des performances des animaux non humains pour expliquer les performances des participants humains dans ces mêmes tâches (Wearden, Pilkington, & Carter, 1999).

1.3.1. La généralisation temporelle

La généralisation temporelle constitue une des méthodes d'estimation temporelle les plus populaires et les plus simples à décrire (Wearden, 1993). Cette méthode consiste à présenter d'abord au participant des exemples d'une durée standard. Des stimuli dont les durées sont plus longues, plus courtes ou égales à la durée standard lui sont par la suite présentés. Le participant doit comparer la durée présentée à la durée standard et juger si elle correspond ou non à la durée standard. Dans une méthode de généralisation temporelle usuelle, une rétroaction concernant le jugement du participant lui est fournie, précisant si sa comparaison était correcte ou non.

La généralisation temporelle implique une comparaison de la représentation en MCT de la durée cible qui vient d'être présentée avec la représentation en MLT de la durée standard. Si la représentation de la durée cible est suffisamment proche de la représentation de la durée standard, une réponse positive est émise (Wearden, 1992, 1999; Wearden & Culpin, 1998).

1.3.2. La bissection temporelle

Comme la généralisation temporelle, la bissection temporelle est une procédure psychophysique populaire et favorisée dans l'étude de la perception du temps et dans l'étude de la mémoire temporelle (Allan, 2002a; Church, 1984). Le rôle des processus mnémoniques et de comparaison qui y sont impliqués sont semblables à ceux qui le sont dans la généralisation temporelle (Wearden, 1999). Dans cette procédure, deux intervalles de référence, l'un Court « C » et l'autre Long « L », sont présentés au participant qui doit les identifier au cours d'un bloc d'essais d'entraînement. Le participant doit par la suite déterminer si un intervalle temporel cible dont la durée se

situe entre « C » et « L » est plus proche de « C » ou de « L ». Selon certains auteurs, la méthode de bissection présente une grande dépendance à la mémoire puisque les intervalles de référence « C » et « L », auxquels l'intervalle cible est comparé à chaque essai, ne sont pas présentés pendant les essais. La comparaison est alors effectuée par rapport à leurs représentations qui sont établies en mémoire de référence (Allan, 1998, 2002a, 2002b; Allan & Gibbon, 1991; Wearden, 1991).

La généralisation et la bissection temporelles sont utilisées pour étudier l'estimation temporelle aussi bien chez les animaux non humains qu'humains. Cependant, avec des participants humains, les durées utilisées sont plus courtes (millisecondes) que celles qui sont utilisées avec des animaux non humains (secondes) afin de minimiser l'utilisation du comptage chronométrique pour estimer le temps (Allan, 1998; Church, 1997; Wearden, 1993).

1.3.3. La discrimination temporelle

Dans une tâche de discrimination, deux intervalles temporels, un Court « C » et l'autre Long « L », sont présentés séquentiellement à chaque essai. L'ordre de présentation de « C » et de « L » est contrebalancé (C L ou L C). Les durées des intervalles que le participant doit distinguer les uns des autres sont très proches et la confusion est très possible. Le participant doit indiquer dans quel ordre les intervalles sont présentés (Allan, 2002a). Comme la généralisation et la bissection temporelles, les ressources en MCT sont très impliquées dans la discrimination de durées (Allan, 1998).

1.3.4. La production temporelle

La méthode de production temporelle, utilisée avec les participants humains, peut être considérée comme analogue à la procédure de *Peak* généralement utilisée avec les animaux non humains (Wearden & McShane, 1988). Dans une tâche de production, le participant est d'abord entraîné à produire un seul intervalle d'une durée donnée qu'il doit mémoriser (par exemple, une durée de deux secondes). Cet entraînement permettrait d'avoir une représentation de l'intervalle en MLT qui serait utilisée pour effectuer les premières productions temporelles. L'étendue des valeurs possibles de cette représentation en mémoire est réduite grâce à la rétroaction procurée au participant durant les séances d'entraînement.

1.3.5. La reproduction temporelle

La tâche de reproduction consiste à présenter au participant un intervalle, dont la durée varie d'un essai à l'autre, qui doit être encodé et immédiatement reproduit. Le participant doit estimer la durée présentée et la reproduire le plus fidèlement possible. Dans une tâche de reproduction, contrairement à la production temporelle, les ressources en MCT sont principalement sollicitées, car l'intervalle à reproduire vient tout juste d'être présenté au participant. Celui-ci n'a donc pas encore développé de représentation en MLT de l'intervalle cible, dont la représentation serait plutôt en MCT. Pendant la reproduction elle-même, la durée en cours doit être mise à jour et comparée de façon continue à la représentation en MCT de l'intervalle présenté pour pouvoir déterminer avec précision le moment auquel la durée cible est atteinte.

Les sections consacrées à la méthodologie générale et aux procédures des expériences menées dans le cadre de la présente thèse comportent une description plus détaillée de la

méthode de reproduction temporelle et des processus qui y sont impliqués. Cette méthode a en effet été utilisée pour l'étude des hypothèses de cette thèse.

Selon Zakay (1990), les différentes méthodes d'estimation temporelle utilisées dans la littérature ne nécessitent pas toujours les mêmes ressources et n'impliquent pas les mêmes processus. Les liens entre l'estimation temporelle et les processus cognitifs qui y sont impliqués font l'objet des investigations actuelles des chercheurs cognitifs.

Différents modèles s'insèrent dans le cadre de ces réflexions et sont proposés pour expliquer les mécanismes et les processus qui permettent d'estimer le temps.

La section suivante est consacrée à la présentation et à la discussion de différents modèles concernés par la perception d'intervalles temporels brefs. Parmi ces modèles, le modèle de traitement d'information temporelle de Church (1984) ainsi que Gibbon, Church, et Meck (1984) servira de contexte théorique principal pour l'interprétation des résultats obtenus dans la présente thèse. Il s'agit d'un des modèles les plus populaires et utilisés actuellement dans la littérature pour décrire l'implication et l'influence des processus cognitifs dans l'estimation du temps. Ce modèle est choisi non seulement parce qu'il permet de faire une distinction explicite entre les facteurs attentionnels ainsi que les facteurs de mémoire liés au jugement temporel et de rendre compte adéquatement de nombreux résultats dans cette littérature, mais aussi parce qu'il partage plusieurs éléments avec les principaux modèles actuels d'estimation temporelle (par exemple, ce modèle repose sur un principe d'accumulation commun et retrouvé dans le modèle très connu de Zakay & Block, 1996). Enfin, le modèle de traitement d'information temporelle est aujourd'hui reconnu pour être une des approches majeures et une des références théoriques les plus citées dans la littérature d'estimation temporelle, non seulement chez

les animaux non humains, mais aussi chez les participants humains (Allan, 1998; Droit-Volet & Wearden, 2003; Lejeune, 1998; Wearden 1992, 1999; Wearden & McShane, 1988).

1.4. Modèles théoriques d'estimation temporelle

Dans son article publié en 1979, Allan concluait, après avoir fait une revue des modèles théoriques proposés pour une meilleure compréhension de la perception du temps, qu'il n'existait pas encore une seule théorie de perception temporelle qui englobe et explique tous les phénomènes empiriques. Aujourd'hui, avec le nombre croissant de modèles proposés, une telle conclusion serait difficile à justifier.

La distinction méthodologique entre les jugements temporels effectués dans un paradigme prospectif ou rétrospectif a marqué pendant longtemps la division entre les modèles dits attentionnels et les modèles dits mnémoniques du temps (Lejeune, 1998). La plupart des modèles d'estimation temporelle actuels intègrent des processus et des caractéristiques propres à ces deux catégories de modèles et arrivent à rendre compte et à expliquer les résultats observés autant dans le paradigme prospectif que rétrospectif.

1.4.1. Le modèle attentionnel d'estimation temporelle

Le modèle attentionnel d'estimation temporelle de Thomas et Weaver (1975) a constitué une ligne directrice pour la recherche sur la contribution de l'attention dans le jugement de durée. Ce modèle a été énoncé sous la forme de l'équation mathématique suivante: $\iota(I) = \alpha [f(t,I)] + [g^*(I)]$

Selon Thomas et Weaver (1975), une information non temporelle « I » de durée « ι » est analysée par un processeur d'information temporelle $[f(t,I)]$ et par un processeur

d'information non temporelle [$g^*(I)$]. La part d'attention accordée au processeur d'information temporelle est grande lorsque la valeur de « α » est proche de 1. Par contre, lorsque la valeur de « α » est proche de 0, l'attention allouée au processeur d'information non temporelle est grande et la quantité d'information non temporelle encodée est plus importante. Selon ces auteurs, les ressources attentionnelles sont limitées et sont partagées entre les deux processeurs qui fonctionnent en parallèle. La qualité du jugement temporel dépend du fonctionnement du processeur de l'information temporelle et de la quantité d'attention « α » qui lui est accordée. Par conséquent, la durée subjective est directement reliée à l'attention allouée au temps.

Une des critiques adressées à ce modèle concerne la restriction de son application à des durées de l'ordre d'une centaine de millisecondes (Allan, 1979; Block, 1990; Zakay, 1989, 1998). Par ailleurs, selon Zakay (1989), la durée perçue d'un intervalle n'est pas fonction de la quantité d'information encodée par les deux processeurs. Elle est plutôt fonction de la quantité de ressources attentionnelles accordées au processeur de l'information temporelle uniquement. Le modèle attentionnel a été plus tard révisé par Zakay dont les travaux ont permis d'étendre ses conceptions à des durées plus longues.

1.4.2. Le modèle de Treisman

Le modèle de Treisman (1963) introduit une théorie générale de perception temporelle et constitue l'un des premiers modèles formels d'horloge interne. Cinq éléments constituent les composantes principales de ce modèle. Un *émetteur*, sensible au niveau d'activation physiologique de l'organisme, produit une série régulière d'indices temporels qui sont enregistrés par un *compteur* et transférés vers un système de *mémoire* ou vers un *mécanisme comparateur* pour une lecture ultérieure. La récupération de

l'information dans le système de mémoire est assistée par un *mécanisme verbal sélectif* que Treisman compare à une MLT. Selon Treisman, le comportement temporel dérive d'une interaction entre ces composantes.

Selon Zakay et Block (1996), un problème majeur du modèle de Treisman est qu'il ne reconnaît pas le rôle majeur des processus attentionnels dans l'estimation temporelle. Par conséquent, ce modèle ne peut ni supporter le comportement complexe de traitement de l'information temporelle chez l'humain, ni expliquer l'influence de la charge de traitement d'information non temporelle et de l'attention sur le jugement temporel.

Malgré ces critiques adressées au modèle de Treisman et d'autres concernant, par exemple, l'absence de bases neurophysiologiques à ses composantes, cette structure théorique a été la première à suggérer que la génération d'un comportement temporel nécessite non seulement un mécanisme d'horloge, mais aussi un mécanisme mnémonique. Elle a aussi contribué de façon importante à l'élaboration d'autres modèles d'horloge interne qui reprennent en grande partie ses principes et éléments tel que le modèle de traitement d'information temporelle, présenté ci-dessous.

1.4.3. Le modèle de traitement d'information temporelle

Le modèle de Traitement d'Information Temporelle (TIT), appelé aussi modèle de timing scalaire (*Scalar Timing Model*), a été développé par Church (1984) et Gibbon et al. (1984). Bien que validé par des données d'expériences de conditionnement temporel effectuées avec des animaux non humains et avec des durées allant de quelques secondes à quelques minutes, ce modèle a également servi à l'analyse de données obtenues dans différentes tâches temporelles avec des participants humains (e.g., Allan & Gibbon, 1991; Wearden, 1991, 1992, 1999; Wearden & McShane, 1988; Wearden et al., 1999) et peut

être appliqué à des durées beaucoup plus courtes ou beaucoup plus longues que celles déjà utilisées (Church, 1997). Selon Wearden (1999), le modèle de TIT a transformé notre compréhension des processus impliqués dans le traitement de l'information temporelle aussi bien chez les animaux non humains que chez les humains.

Le modèle de TIT, illustré à la Figure 1, se base sur un principe d'accumulation d'indices temporels émis par un émetteur et transférés grâce à un interrupteur vers un accumulateur. Ce système d'émetteur, interrupteur et accumulateur constitue le premier niveau du traitement temporel, appelé niveau de l'*horloge interne*. Le second niveau, la *mémoire*, est constitué d'une mémoire de travail, qui maintient à court terme les indices temporels émis, et d'une mémoire de référence qui permet la rétention de l'information temporelle à plus long terme. Un troisième niveau de *décision* consiste en une comparaison effectuée par un comparateur entre la représentation temporelle dans la mémoire de référence et celle dans l'accumulateur ou dans la mémoire de travail. Lors du traitement de l'information temporelle, ces trois niveaux interagissent les uns avec les autres (Lejeune, 1998). La section ci-dessous est consacrée à la description de chacun de ces niveaux de façon plus spécifique.

Figure 1

1.4.3.1. L'horloge interne. L'horloge interne est composée de trois éléments. L'émetteur génère des indices temporels à une fréquence qui peut varier en fonction des variables environnementales ou de l'état de l'organisme (Church, 1984; Meck, 1996).

Contrairement au modèle de Treisman (1963), l'émission des indices ne se fait pas à un

rythme constant et doit, selon Church (1984), être rapide afin de permettre la discrimination des petites différences de durées. Elle doit aussi être stable pour permettre une discrimination temporelle fiable. Elle suit la *Loi Poisson* qui tend vers une distribution normale lorsque le nombre d'émissions augmente (Rousseau, Picard, & Pitre, 1984).

L'*interrupteur*, deuxième élément de l'horloge, serait sous le contrôle attentionnel (Meck, 1984, 1996; Rousseau et al., 1984). Lorsque l'interrupteur est fermé, il permet le passage des indices de l'émetteur vers l'accumulateur si l'attention est portée à l'estimation de la durée en cours. Lorsqu'un traitement non temporel qui nécessite l'attention est effectué, l'interrupteur s'ouvre et l'accumulation des indices temporels est alors interrompue. Une courte période de latence peut être observée entre le signal marquant le début de l'intervalle et la fermeture de l'interrupteur et entre le signal marquant la fin de l'intervalle et la réouverture de l'interrupteur. Selon Meck (1984), la modalité sensorielle du signal utilisé peut affecter ces périodes de latence : les signaux auditifs fermeraient l'interrupteur rapidement alors que les signaux visuels, qui nécessitent plus d'attention, impliqueraient un délai de fermeture plus long. En général, la période de latence avant la fermeture de l'interrupteur est plus longue que celle qui accompagne son ouverture (Church, 1997). Ces périodes de latence peuvent être à l'origine de la source de variance au niveau de l'interrupteur (Church, 1984; Gibbon et al., 1984).

L'*accumulateur*, dernier élément de l'horloge, constitue une sorte de mémoire sensorielle (Church, 1984; Lejeune, 1998) et est un lieu d'emmagasinement des indices temporels générés par l'émetteur, pendant un laps de temps très bref, de l'ordre de 200 à

300 ms. Le nombre d'indices dans l'accumulateur dépend du débit de l'émetteur et de la durée pendant laquelle l'interrupteur reste fermé. Les indices accumulés constituent une source nécessaire au processus de comparaison et à la prise de décision ultérieure. Selon Lejeune (1998), la réduction de la durée subjective constatée dans le cas d'interférence avec le traitement temporel cadre bien avec l'éventualité d'un mécanisme tel que l'accumulateur. À la fin de l'intervalle, les indices dans l'accumulateur sont transférés en mémoire de référence et l'accumulateur est remis à zéro. Cependant, certains auteurs tels que Wing (2002) considèrent que l'accumulateur n'est pas un élément indispensable au processus du traitement de l'information temporelle et proposent un passage direct des indices temporels de l'émetteur vers la mémoire de travail.

Meck (2003) considère que le niveau de l'horloge interne définit le premier processus nécessaire au traitement de l'information temporelle, à savoir le processus de perception du temps.

1.4.3.2. La mémoire. La mémoire constitue non seulement le deuxième niveau, mais aussi le deuxième processus du modèle. Selon Church (1984, 1997) ainsi que Gibbon et al. (1984), les fonctions de stockage en mémoire constituent une étape essentielle et jouent un rôle critique dans le traitement de l'information temporelle. Deux registres de mémoire, la *mémoire de travail* et la *mémoire de référence*, sont impliqués dans l'estimation temporelle. Church (1997) présume que la mémoire de travail stocke l'information temporelle uniquement lorsqu'il y a un délai entre le jugement temporel requis et la réponse à donner. Selon cet auteur, la fonction principale de la mémoire de travail serait, donc, de stocker temporairement une durée pour un jugement ultérieur et correspondrait davantage à la fonction d'emmagasinement de la MCT. Selon Lejeune

(1998), la mémoire de travail est fonctionnellement équivalente à l'accumulateur. Si aucun délai ne sépare l'élaboration du jugement de la réponse à fournir, le nombre d'indices temporels accumulés est comparé au nombre critère en mémoire de référence.

La mémoire de référence se rapproche de la notion de la MLT puisque sa fonction principale est de stocker l'information temporelle à plus long terme. Cette information servirait de représentation de la durée perçue, par rapport à laquelle le nombre d'indices emmagasinés dans l'accumulateur ou dans la mémoire de travail va être comparé. Les durées emmagasinées en mémoire de référence sont modulées par une constante en mémoire (K^*), qui peut être égale, supérieure ou inférieure à 1. Ainsi, si (K^*) est égale à 1, le temps rappelé sera égal au temps renforcé (durée cible). Si (K^*) est inférieure à 1, le temps rappelé sera plus court que la durée cible, alors que si (K^*) est supérieure à 1, le temps rappelé sera supérieur à la durée cible. La constante (K^*) est généralement représentée comme une distribution Gaussienne avec une moyenne de 1 et peut être altérée et provoquer des distorsions du temps représenté en mémoire de référence.

1.4.3.3. La décision. La décision se base sur un processus de comparaison, considéré comme étant le troisième processus nécessaire au traitement d'information temporelle. Le comparateur confronte le compte du nombre d'indices temporels dans l'accumulateur ou dans la mémoire de travail pour l'estimation temporelle en cours (t), au compte du nombre d'indices critère en mémoire de référence (n^*). Le nombre d'indices critère est établi par l'ensemble des estimations effectuées pendant la période d'entraînement et est représenté comme une distribution Gaussienne avec une moyenne aléatoire (n) et un coefficient de variation (c). La décision est prise dépendamment de la comparaison de la différence absolue entre (t) et (n^*), exprimée comme une fraction de (n^*) et d'un seuil

(b^*) , qui est une valeur aléatoire de la distribution Gaussienne de seuil avec une moyenne (b) et une déviation standard (x) . L'équation décrivant le seuil de réponse est exprimée de la manière suivante : $(|n^* - t| / (n^*) < (b^*))$. Si la différence normalisée est plus petite que le seuil, la réponse est déclenchée et un jugement temporel est émis.

Les processus décisionnels et de comparaison forment une partie centrale dans le modèle de TIT. En effet, le comportement temporel est une interaction de l'horloge, de la mémoire et des processus décisionnels et de comparaison et aucun comportement ne peut être expliqué dans le cadre du modèle de TIT sans faire explicitement ou implicitement référence aux processus décisionnels (Wearden, 1993; Wearden & Culpin, 1998).

Wearden (1999) avance que l'introduction de ces derniers constitue l'un des avantages majeurs qu'a le modèle de TIT par rapport aux autres modèles d'horloge interne tels que le modèle de Treisman (1963).

Grâce à sa rigueur mathématique, à sa capacité à décrire les processus cognitifs qui opèrent lorsqu'un organisme doit effectuer une tâche temporelle et à la distinction claire qu'il fait de la contribution de la mémoire de celle de l'attention dans l'estimation temporelle, le modèle de TIT a été largement adopté par les chercheurs en estimation temporelle. Le modèle de TIT a, cependant, été critiqué par des chercheurs tels que Block (1990) et Zakay (2000) qui considèrent que son point de vue constitue une simplification d'un ensemble de processus complexes qui sous-tend l'estimation temporelle. Selon ces auteurs, le modèle de TIT, développé avec des animaux non humains, n'est pas suffisamment élaboré pour couvrir et englober tous les phénomènes observés et les processus impliqués dans le comportement humain lié au traitement de l'information temporelle. Des auteurs tels que Staddon et Higa (1991) reprochent aussi au modèle

l'absence de consensus concernant le processus d'apprentissage de durées. Selon ces auteurs, le modèle ne procure aucune information sur les durées emmagasinées en mémoire de référence et sur le processus de sélection utilisé pour la comparaison.

D'autres chercheurs reprochent au modèle de TIT son imprécision quant à l'origine de la variation observée dans les performances et qui peut agir à tous ses niveaux (Allan, 1992; Lejeune, 1998; Meck, 1996; Wearden 1999). Chaque composante du modèle de TIT constitue, en effet, une source potentielle de variation. Par exemple, le rythme de l'émetteur peut être plus ou moins lent, l'ouverture et la fermeture de l'interrupteur peuvent se faire de façon plus ou moins rapide, les représentations de la durée renforcée peuvent être plus ou moins longues que la durée elle-même. De plus, toutes ces composantes agissent ensemble dans la plupart des tâches temporelles, ce qui rend difficile l'attribution de la variance à une partie du système plutôt qu'une autre. Finalement, des auteurs tels que Zakay et Block (1996) considèrent que, comme le modèle de Treisman, le modèle de TIT ne reconnaît pas le rôle majeur des processus attentionnels dans la perception du temps. Ils proposent à cet effet leur modèle de barrière attentionnelle qui permet selon eux de compenser les lacunes du modèle de TIT.

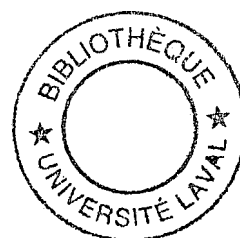
1.4.4. Le modèle de barrière attentionnelle

Le modèle de barrière attentionnelle (*Attentional Gate Model*) de Zakay et Block (1996), illustré à la Figure 2, combine des caractéristiques et composantes propres aux modèles de Treisman (1963), de Thomas et Weaver (1975) ainsi que de Church (1984). Selon Zakay et Block (1996) ainsi que Zakay (2000), ce modèle apporte d'importantes modifications aux modèles d'horloge interne et a un pouvoir explicatif plus fort que celui du modèle de TIT. Il inclut et élabore la notion que le sujet (animal non humain ou

humain) doit partager ses ressources attentionnelles entre l'attente d'un événement extérieur et le temps.

L'élément majeur et nouveau de ce modèle est une *barrière attentionnelle* qui est un mécanisme cognitif contrôlé par l'attention portée au temps. Lorsque l'attention est allouée au temps, la barrière s'ouvre, permettant ainsi le passage des indices temporels de l'*émetteur* vers le *compteur cognitif*. Le passage des indices de l'émetteur vers le compteur doit se faire par le biais de l'*interrupteur* qui fonctionne selon un mode de « tout ou rien ». Lorsqu'un jugement temporel est requis, l'interrupteur se ferme, permettant ainsi l'accumulation des indices temporels. Le nombre d'indices transmis dépend de deux facteurs : le rythme auquel les indices sont émis qui est influencé par le niveau d'éveil général, et la durée pendant laquelle la barrière est ouverte qui est déterminée par la quantité d'attention allouée au temps. Par ailleurs, le passage des indices de l'émetteur au compteur est également sous le contrôle de l'attention. Si l'attention est partagée entre un jugement temporel et une tâche non temporelle effectuée simultanément, moins d'attention est allouée au traitement temporel. Les indices accumulés sont moins nombreux et la durée, sous-estimée.

Comme le modèle de TIT, le modèle de barrière attentionnelle comprend aussi une *mémoire de référence* (ou MLT), une *mémoire de travail* (ou MCT) et un *comparateur*. La nature et la fonction de ces éléments sont très semblables à ce qui a été proposé dans le modèle de TIT, bien qu'une « teinte » attentionnelle leur a été ajoutée (Lejeune, 1998). En effet, aussi bien le comptage du nombre total des indices accumulés dans le compteur cognitif que la comparaison entre le compte actuel des indices en mémoire de travail et le



nombre total en mémoire de référence nécessiteraient, dans ce modèle, des ressources attentionnelles.

Figure 2

Le postulat de contrôle attentionnel sur le passage des indices temporels de l'émetteur vers le compteur, central dans le modèle de barrière attentionnelle, le distingue du modèle de TIT. Cependant, des chercheurs tels que Fortin, Rousseau, Bourque et Kirouac (1993) ont montré dans une série d'expériences que le partage de ressources en MCT entre une tâche temporelle et une tâche non temporelle concurrente peut constituer un élément distinct qui doit être considéré indépendamment du partage de ressources attentionnelles. Dans leur étude, différentes tâches de prospections visuelle et mnémonique de difficulté équivalente ont été effectuées simultanément à une tâche de production temporelle. Parmi ces tâches de prospections, celles qui sollicitaient la MCT se sont avérées affecter particulièrement la production temporelle. En revanche, les tâches qui impliquaient un traitement visuel nécessitant de l'attention, mais peu de ressources en mémoire, ne semblaient pas affecter la production. Fortin et al. (1993) concluent qu'alors qu'un traitement en mémoire semble interférer avec la production temporelle, un traitement visuel reconnu pour exiger de l'attention semble, dans certaines conditions, pouvoir être exécuté en parallèle avec l'estimation temporelle.

Par ailleurs, la pertinence de l'ajout d'une barrière attentionnelle dans l'horloge interne fait actuellement l'objet d'une controverse et a été récemment remise en question par des chercheurs tels que Allan (1998) et Lejeune (1998, 2000). Selon Lejeune, le

modèle de TIT ne néglige pas le rôle des variables attentionnelles au point qu'une barrière attentionnelle doit être agrafée à son horloge. L'implication de l'attention dans l'estimation temporelle a été déjà explicitée dans le modèle de TIT puisque l'interrupteur, dont l'ouverture et la fermeture seraient sous contrôle attentionnel (Meck, 1984), peut assurer les mêmes fonctions que la barrière attentionnelle. Par ailleurs, les caractéristiques de la barrière attentionnelle du modèle de Zakay et Block (1996) ont déjà été attribuées à l'interrupteur du modèle de TIT et testées dans différentes expériences. Enfin, la plupart des effets attentionnels observés peuvent être décrits dans le cadre du modèle de TIT sur la base des propriétés fonctionnelles de son interrupteur.

Selon Lejeune (1998, 2000), l'ajout de la barrière attentionnelle à l'interrupteur dans l'horloge interne n'est donc que redondance puisque les deux composantes jouent le même rôle. Cet auteur met aussi l'accent sur le fait que Zakay et Block (1996) aient reconnu que ni les arguments logiques ni les arguments empiriques ne sont disponibles pour distinguer les métaphores relatives à la barrière et à l'interrupteur attentionnels. Finalement, selon Lejeune, le modèle de barrière attentionnelle ne peut pas couvrir une plus grande variété de phénomènes et n'a pas un pouvoir explicatif plus fort que le modèle de TIT.

D'autres approches ont été développées et proposées pour modéliser l'estimation temporelle. Parmi celles-ci, notons la théorie behaviorale de timing (*Behavioral Theory of Timing*) de Killeen et Fetterman (1988). Cette théorie explique la performance, en recherche animale sur l'estimation temporelle, par le renforcement et la transition entre des états comportementaux. Notons aussi le modèle connexionniste de Church et Broadbent (1991) qui constitue un développement récent qui a eu un certain impact dans

la recherche sur l'estimation temporelle. Même si ces approches peuvent être des compétiteurs solides des modèles de TIT et de barrière attentionnelle dans la littérature sur l'estimation temporelle chez les animaux non humains, elles ont eu moins d'impact sur la recherche sur l'estimation temporelle chez les humains (Staddon & Higa, 1991). Les sections suivantes constituent une brève revue de ces approches.

1.4.5. La théorie behaviorale de timing

La théorie behaviorale de timing est une théorie associationniste qui repose sur les principes fondamentaux d'apprentissage. Ainsi, ce sont les comportements, et en situation d'apprentissage, les réponses, qui servent de base et de repères pour estimer le temps.

Selon Killeen et Fetterman (1988), cette théorie s'applique à un organisme non sophistiqué, un organisme qui ne compare pas les similarités, ne prend pas en considération les ratios et ne calcule pas la proximité relative. Lorsqu'un jugement temporel est requis, les animaux non humains n'isolent pas le stimulus dont la durée doit être estimée des autres événements dans leur réponse. Ils émettent plutôt une réponse différentielle basée sur le comportement effectué à ce moment. Ils émettent donc une certaine réponse s'ils sont interrompus pendant l'exécution d'un comportement et une autre lorsqu'ils sont interrompus pendant l'exécution d'un autre comportement. Contrairement au modèle de TIT, la théorie behaviorale ne fait pas référence à des jugements de similarité complexes, des représentations en mémoire et des transformations subjectives.

La théorie behaviorale repose, comme le modèle de TIT, sur un principe d'accumulation. L'émetteur est un oscillateur biologique qui peut être également, comme dans le modèle de TIT, affecté par la température corporelle, les drogues et le niveau

d'activation. Cet émetteur est toutefois en relation directe avec le rythme de renforcement dans le contexte expérimental. Plus le rythme de renforcement est grand, plus l'émetteur est rapide. Chaque indice émis par l'émetteur est associé à un comportement. Le renforcement est émis lorsqu'une séquence de comportements est complétée (par exemple, un rat dans une boîte recevrait un renforcement s'il exécute la séquence suivante de comportements : manger un peu de nourriture, boire un peu d'eau, faire le tour de la boîte, courir sur une roue et enfin presser une manette). Puisque la séquence de comportements s'effectue dans un certain intervalle de temps, l'apprentissage de cette séquence résulte en l'apprentissage de la durée de l'intervalle. La fréquence du renforcement influence le niveau d'activation physiologique de l'organisme, lequel peut influencer à son tour la vitesse de fonctionnement de l'émetteur.

Même si sa simplicité apparente fait sa qualité, la théorie behaviorale ne peut pas rendre compte d'un nombre assez large de tâches temporelles et ses concepts restent difficiles à appliquer à l'être humain (Droit-Volet & Wearden, 2003).

1.4.6. Le modèle connexionniste

Développé par Church et Broadbent (1991), le modèle connexionniste constitue une version connexionniste du modèle de TIT de Church (1984) et Gibbon et al. (1984). Il reprend les trois niveaux du modèle de TIT, à savoir l'horloge interne, la mémoire et la décision, qu'il conçoit autrement. En effet, alors que le modèle de TIT se base sur un système d'horloge, le modèle connexionniste se base sur un système d'*oscillateurs*. L'horloge interne est ainsi remplacée par un ensemble d'oscillateurs. Ces oscillateurs possèdent différentes périodes temporelles, procurent une représentation du temps et permettent de discriminer des durées allant de quelques millisecondes à plusieurs minutes

voire plusieurs heures. Selon Church et Broadbent, ces oscillateurs ne sont pas complètement précis et contiennent une source de variation aléatoire. Les sources de variation affectent tous les oscillateurs d'un essai à un autre de la même manière (elles augmentent ou diminuent leurs périodes avec le même pourcentage). Le temps écoulé est représenté par un état de chacun de ces oscillateurs au moment de l'estimation ce qui permet l'estimation d'une plus grande variété de durées que dans le modèle de TIT, où le temps est représenté par la somme des indices temporels dans l'accumulateur.

L'accumulateur est remplacé, quant à lui, par un ensemble d'*indicateurs de statut d'emmagasinage* dont le nombre est égal à celui des oscillateurs. Contrairement à l'accumulateur qui emmagasine le nombre total des indices temporels émis par l'horloge interne, chaque indicateur de statut d'emmagasinage va simplement enregistrer la phase de son oscillateur associé et ne comptera pas le nombre de cycles qui auront été complétés. L'information contenue dans ces indicateurs de statut est transférée vers un système de matrices équivalent au système de mémoires dans le modèle de TIT. En effet, la mémoire de travail ainsi que la mémoire de référence dans le modèle de TIT sont converties en des *matrices de connexion*, dont le nombre est égal au nombre des oscillateurs au carré. L'avantage de cette conversion est que l'information concernant un nombre infini d'échantillons de durées peut être emmagasinée de façon temporaire (mémoire de travail) ou de façon permanente (mémoire de référence) dans une seule matrice de connexion et que cette même matrice peut être utilisée pour emmagasiner l'information de différentes valeurs temporelles (Wearden & Doherty, 1995).

Un second système d'émetteur-accumulateur a été introduit sous la forme d'un second système d'*oscillateurs* et d'*indicateurs de statut de récupération*. Ce système est

connecté directement aux matrices de connexion (mémoire de référence) et est utilisé durant la récupération de l'information temporelle. Il fait partie du processus de décision qui permet la génération d'une réponse. La décision est basée sur la similarité d'un *vecteur de récupération*, produit par les indicateurs de statut d'emmagasinement ainsi que les indicateurs de statut de récupération, à un *vecteur de sortie*. Le vecteur de sortie résulte d'une multiplication des matrices de connexion par le vecteur de récupération. Si le vecteur de récupération enregistre un temps similaire à celui contenu dans les matrices de connexion, alors le vecteur de sortie observé sera similaire au vecteur de récupération et inversement. Comme dans le modèle de TIT, où la décision est basée sur un ratio de la valeur actuelle dans l'accumulateur et un échantillon de valeurs en mémoire, la mesure de similarité est ensuite comparée à une valeur seuil de décision. Si la mesure excède ou non la valeur seuil critique, une réponse est ou n'est pas émise.

Le modèle de Church et Broadbent (1991), reposant sur l'idée de multiples oscillateurs, constitue l'un des premiers du genre et est fort utile pour l'avancement de la recherche dans le domaine du temps (Droit-Volet & Wearden, 2003). Church et Broadbent reconnaissent toutefois que le modèle de TIT est beaucoup plus développé que leur modèle connexionniste. En effet, même si les caractéristiques du modèle connexionniste neurobiologiquement plus plausibles que celles du modèle de TIT font sa force, leur modèle ne peut pas expliquer plusieurs données obtenues avec différentes tâches temporelles et ne permet pas de rendre compte de la variance dans les données.

L'ensemble des méthodes et des modèles décrits ci-dessus a non seulement permis d'établir des liens entre l'estimation temporelle et les mécanismes ainsi que les processus cognitifs qui y sont impliqués, mais aussi d'approfondir les connaissances concernant les

bases neurales de la perception du temps. L'un des principaux objectifs de la recherche actuelle sur l'estimation du temps est d'arriver à concevoir des modèles qui soient plus plausibles au niveau neurobiologique. Par ailleurs, au cours des dernières années, le nombre de recherches qui ont tenté de déterminer les relations qui existent entre une ou plusieurs structures nerveuses et une étape particulière du traitement de l'information temporelle a considérablement augmenté.

1.5. Les bases neurologiques de l'estimation temporelle

Les études récentes qui utilisent la combinaison de manipulations pharmacologiques et comportementales (lésions de structures cérébrales ou administration de drogues et analyses des performances observées dans différentes tâches) pour établir des relations entre les différentes étapes du traitement de l'information temporelle et le système nerveux ont conduit à la conclusion selon laquelle le traitement temporel est distribué sur une variété de régions cérébrales. L'objectif de la présente section n'est pas de décrire, de façon exhaustive, la littérature sur les bases neurologiques de l'estimation temporelle. Il s'agit ici de faire un bref survol des principales structures mentionnées dans la littérature sur les bases neurologiques de l'estimation temporelle chez les humains.

Plusieurs auteurs postulent que les différentes étapes du traitement temporel impliquent différentes régions cérébrales et peuvent être affectées par plusieurs systèmes de neurotransmetteurs (e.g., Harrington & Haaland, 1999; Harrington, Haaland, & Knight, 1998; Meck, 1996; Rao, Mayer, & Harrington, 2001). Ces hypothèses ont fait l'objet de validations empiriques dans un grand nombre d'études comportementales chez des participants humains sains et chez des patients lésés cérébraux ou atteints de maladies telles que la maladie de Parkinson (Harrington & Haaland, 1999; Monfort, Pouthas, &

Ragot, 2000; Perbal, Ehrle, Samson, Baulac, & Pouthas, 2001; Rammsayer, 1989). De nombreuses données issues de travaux en imagerie ont permis également de valider ces hypothèses et de montrer l'importance de ces structures et régions cérébrales dans différentes tâches temporelles (e.g., Rao et al., 2001).

Rao et al. (2001) suggèrent que l'élaboration d'une représentation temporelle chez l'humain est sous-tendue par l'activité des ganglions de la base. Dans une étude en Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), ces auteurs ont observé une activation de ces structures lorsque les participants devaient effectuer une tâche de synchronisation et de continuation temporelle (taper avec un doigt en synchronie avec des sons séparés par des intervalles constants puis continuer à taper à la même cadence lorsque les stimuli auditifs ne sont plus présents). L'implication des ganglions de la base dans l'estimation temporelle et leur importance dans le fonctionnement de l'horloge a été aussi suggérée par Rammsayer (1989) ainsi que par Harrington, Haaland et Hermanowicz (1998). Dans une série d'études menée avec des participants sains, Rammsayer a observé que l'ingestion d'halopéridol, un antagoniste de la dopamine qui peut perturber le système dopaminergique au niveau des ganglions de la base, peut produire une baisse des capacités de discrimination chez les participants entraînés à discriminer des intervalles temporels. De la même manière, Harrington et al. (1998) rapportent une grande variabilité et un manque de précision chez les patients parkinsoniens, dont le système dopaminergique au niveau des ganglions de la base est perturbé, qui devaient effectuer une tâche de continuation temporelle.

D'autres travaux ont montré l'implication d'autres régions lors des différents autres processus et opérations nécessaires à l'élaboration d'un jugement temporel. Par exemple,

Harrington et Haaland (1999) ont observé que les patients dont les lésions se situent au niveau de l'hémisphère droit ont des difficultés à juger la durée relative d'intervalles sonores et proposent que les opérations attentionnelles nécessaires au jugement temporel soient sous-tendues par l'hémisphère droit, en particulier par les régions pariétales et frontales. Perbal et al. (2001) suggèrent que les régions temporales sous-tendent les processus mnésiques et décisionnels mis en jeu lors d'un jugement temporel. Ces auteurs ont observé une perturbation des productions temporelles chez les patients lésés au niveau du cortex temporal droit qui sous-estimaient de façon importante les durées qu'ils produisaient. Selon ces auteurs, la tâche de production nécessite le recours à des représentations en MLT des durées et la sous-estimation observée à la suite des lésions temporales serait due à une distorsion de ces représentations.

La recherche des bases neurologiques qui sous-tendent les différentes étapes du traitement de l'information temporelle telles que décrites dans les modèles d'estimation temporelle suggère donc que les mécanismes d'horloge interne ainsi que les mécanismes mnémoniques et décisionnels sont des mécanismes réels qui impliquent des régions cérébrales différentes et qu'ils ne sont pas uniquement des parties distinctes d'un modèle théorique du temps. Par ailleurs, cette différenciation cérébrale semble être cohérente avec les principaux modèles d'estimation temporelle qui postulent que le traitement de l'information temporelle est effectué par un certain nombre de composantes distinctes qui prennent en charge des opérations spécifiques (Church, 1984). Comme au niveau neurologique, ces composantes seraient connectées ensemble, s'influençant les unes les autres et permettant ainsi la réalisation des séquences nécessaires à l'exécution de tâches qui requièrent des jugements temporels. Dans des tâches complexes, comme celles avec

lesquelles l'estimation temporelle est étudiée chez l'humain, de nombreuses structures autres que celles spécifiquement allouées au traitement temporel seraient impliquées et interagiraient avec ces dernières.

La section suivante est consacrée à la présentation des données de recherches qui concernent les rôles des différentes structures et processus cognitifs impliqués dans l'estimation du temps. Les méthodes qui sont utilisées sont semblables à celles qui ont été décrites au préalable et à celle utilisée dans la présente thèse. L'interprétation des résultats observés s'inspire principalement des modèles d'horloge interne tel que le modèle de TIT décrit précédemment et qui servira de contexte théorique pour l'interprétation des résultats obtenus dans la présente thèse.

1.6. Estimation temporelle et traitement non temporel

Lorsqu'une tâche non temporelle est exécutée simultanément à une tâche temporelle, un effet d'interférence du traitement concurrent avec le traitement temporel est observé. Une littérature abondante appuie cette observation (e.g., Brown, 1995, 1997; Brown & West, 1990; Casini & Macar, 1999; Fortin & Breton, 1995; Fortin et al., 1993). Cette interférence a été démontrée avec une variété de tâches non temporelles faisant appel à différents processus cognitifs (Boltz, 1991; Brown, 1985, 1995, 1997; Hemmes, Brown, & Kladopoulos, 2004; McClain, 1983; Michon & Jackson, 1984; Shinohara, 1999; Zakay, 1990, 1993, 1998). Certains auteurs interprètent cette interférence dans le cadre des modèles attentionnels selon lesquels le traitement d'information temporelle dépend de la quantité d'attention allouée à la tâche temporelle. Si une tâche non temporelle exécutée simultanément à une tâche temporelle nécessite de l'attention, les ressources attentionnelles sont partagées entre les deux tâches. La quantité de ressources allouées à

la tâche temporelle étant diminuée par ce partage, une interférence de la tâche concurrente avec la tâche temporelle est observée (Brown, 1985; Hicks et al., 1976; Thomas & Weaver, 1975).

1.6.1. Estimation temporelle et attention

Brown (1997) a étudié l'interférence de différentes tâches non temporelles avec la production d'intervalles temporels. À la suite des résultats obtenus dans son étude, il a suggéré que le traitement temporel est affecté lorsque certaines ressources attentionnelles spécialisées sont partagées entre la tâche temporelle et la tâche non temporelle concurrente.

Dans l'étude de Brown (1997), les effets d'interférence bidirectionnelle entre une tâche de production d'intervalles (2-5 secondes) et trois tâches non temporelles ont été analysés. Les trois tâches non temporelles ont été testées seules dans des conditions contrôles afin d'établir le niveau de performance de base des participants. Dans les conditions de double tâche, l'effet de ces tâches sur la tâche de production a été mesuré, en même temps que l'effet réciproque de la tâche de production sur les trois tâches non temporelles.

Dans la première expérience, le participant devait produire l'intervalle cible en effectuant simultanément une tâche de poursuite visuelle qui consistait à poursuivre une cible à l'aide d'un stylet. La difficulté de cette tâche a été manipulée grâce à la modification de la vitesse de déplacement de la cible visuelle. Dans la seconde expérience, la tâche non temporelle était une tâche de recherche visuelle consistant à rechercher une cible (une lettre) parmi un ensemble de distracteurs. La difficulté de la tâche a été manipulée par le degré de similitude entre la cible et les distracteurs. Par

exemple, la lettre « K » pouvait être recherchée parmi un ensemble de lettres de forme arrondie (C, Q, O et U) ou de forme angulaire plus similaire à la cible (V, W, X et Y). Dans la troisième expérience, la tâche non temporelle utilisée était une tâche de résolution de problèmes d'arithmétiques consistant à identifier les réponses incorrectes à des problèmes de soustraction mathématique de différents niveaux de difficulté.

Les résultats obtenus ont montré que les trois tâches non temporelles interféraient avec les productions temporelles des participants. La détérioration de la performance temporelle semblait être proportionnelle au niveau de difficulté des tâches non temporelles. Cependant, cet effet d'interférence était unidirectionnel dans les deux premières expériences et n'était bidirectionnel que dans la troisième expérience. Ainsi, aucun effet de la tâche temporelle n'a été relevé sur les tâches visuelles de poursuite et de prospection dont les performances dans la situation de double tâche étaient comparables à celles où le participant devait les effectuer seules dans la condition contrôle. Par contre, l'exécution simultanée de la tâche temporelle a produit un déclin des performances à la tâche d'arithmétique. En effet, le pourcentage de problèmes correctement résolus diminuait lorsque le participant devait effectuer les deux tâches simultanément. Selon Brown (1997), le partage de ressources attentionnelles limitées et générales peut expliquer les résultats de cette dernière expérience, mais ne peut expliquer l'interférence unidirectionnelle dans les deux premières expériences. Brown propose, par conséquent, d'interpréter ces résultats dans le cadre du modèle à réservoirs spécifiques multiples de Wickens (1984).

Wickens (1984) a proposé dans son modèle plusieurs réservoirs de ressources attentionnelles spécialisées. Chaque traitement vient puiser dans un réservoir, de manière

spécifique, la quantité de ressources dont il a besoin et ne consomme donc pas de ressources appartenant à d'autres réservoirs qu'il n'utilise pas. Ceci permettrait alors de réaliser d'autres traitements en parallèle si ces traitements puisent dans d'autres réservoirs. Lorsque deux tâches exécutées simultanément puisent dans un même réservoir, moins de ressources sont disponibles au traitement de ces tâches et un effet d'interférence est observé. Par contre, les tâches qui font appel à des ressources appartenant à des réservoirs indépendants n'interfèrent pas ensemble.

Selon Brown (1997), si l'effet d'interférence bidirectionnelle n'est observé qu'entre la tâche de production temporelle et la tâche d'arithmétique, c'est parce que ces deux tâches nécessitent des ressources verbales et perceptuelles-centrales. Elles puisent donc dans un bassin commun de ressources attentionnelles spécialisées et limitées. Par contre, même si une certaine quantité de ressources perceptuelles-centrales est partagée entre les deux tâches visuelles et la tâche temporelle, Brown infère que ce partage n'est pas suffisant pour affecter le traitement des tâches non temporelles. Il suggère que l'analyse de l'interférence d'une tâche non temporelle avec une tâche temporelle ne peut simplement s'appuyer sur un postulat de ressources attentionnelles générales limitées, mais doit tenir compte des ressources spécifiques impliquées dans les tâches non temporelles.

Par la suite, plusieurs études ont montré que le partage de ressources attentionnelles entre une tâche non temporelle et une tâche temporelle peut affecter le traitement de l'information temporelle concurrente (Burle & Casini, 2001; Casini & Macar, 1999; Macar, 2002). Par exemple, Macar (2002) a montré que l'exécution d'une tâche de discrimination pendant une tâche de reproduction d'intervalles affecte les performances à

la tâche temporelle. Dans cette étude, la tâche de discrimination consistait à juger l'intensité d'un stimulus visuel ou d'un stimulus auditif. Les résultats ont montré que lorsque l'information visuelle ou auditive était traitée pendant l'encodage des intervalles à reproduire, les reproductions de ces intervalles étaient affectées puisque les durées reproduites étaient plus courtes que la durée cible. Macar a aussi montré que la manipulation du moment d'apparition du stimulus visuel ou auditif affectait les reproductions temporelles. En effet, plus le stimulus visuel ou auditif survenait tardivement pendant l'encodage de l'intervalle, plus les intervalles reproduits étaient courts. Macar a interprété ce résultat comme étant dû au partage des ressources attentionnelles qui pouvait se faire entre l'attente de l'apparition du stimulus et l'estimation de l'intervalle temporel. L'influence de l'attente et du partage attentionnel dû à l'attente sur l'estimation temporelle sera traitée plus tard dans ce document dans la section réservée à l'effet de l'interruption du traitement temporel sur l'estimation temporelle.

Outre l'effet du partage des ressources attentionnelles sur l'estimation temporelle, plusieurs études ont montré que le partage des ressources en mémoire peut être un facteur important dans l'interférence d'une tâche non temporelle avec l'estimation temporelle concurrente.

1.6.2. Estimation temporelle et mémoire

L'hypothèse de l'interférence liée au partage des ressources en mémoire a été démontrée et validée dans plusieurs expériences utilisant différentes tâches non temporelles sollicitant la MCT (Fortin, 1999; Fortin & Breton, 1995; Fortin & Massé, 1999; Fortin et al., 1993) ainsi que différentes durées et méthodes dans la tâche

temporelle (Fortin & Couture, 2002; Fortin & Rousseau, 1998; Fortin, Duchet, & Rousseau, 1996). Ainsi, les résultats de ces expériences ont montré que des tâches en mémoire telles que l'identification d'item (Fortin et al., 1993), le jugement de rimes (Fortin & Breton, 1995), la rotation mentale (Fortin & Breton, 1995; Shinohara, 1999) ainsi que le jugement d'information d'ordre temporel en mémoire (Fortin & Massé, 1999) interfèrent avec la production d'intervalles temporels. Cette interférence semblait être positivement reliée à la durée et au niveau de difficulté du traitement concurrent en mémoire.

Fortin et Massé (1999) ont montré que la manipulation de la difficulté de la tâche en mémoire pouvait affecter la magnitude de l'effet d'interférence qui était proportionnelle à la durée du traitement en MCT. Ces auteurs ont combiné deux différentes tâches en mémoire à une tâche de production temporelle. Dans la première tâche « traitement d'information d'item », le participant devait reconnaître une cible en mémoire parmi un ensemble d'items. Dans la seconde tâche « traitement d'information d'ordre temporel », la cible devait non seulement être identifiée, mais sa position temporelle dans l'ensemble mémoire devait également être reconnue. Les résultats obtenus dans une condition de temps de réaction ont révélé que la tâche de traitement d'information d'ordre était plus difficile que la tâche de traitement d'information d'item. La pente de la fonction de temps de réaction en fonction de la taille de l'ensemble mémoire était en effet plus élevée dans la tâche où le traitement d'ordre était requis que dans celle où seul le traitement d'information d'item était demandé au participant. Cette augmentation dans la pente de la fonction de temps de réaction a confirmé que l'ajout du traitement d'information d'ordre

à la tâche en mémoire augmente son niveau de difficulté par rapport à celle où seul le traitement d'item est requis.

Lorsque les tâches en mémoire ont été combinées à la tâche de production temporelle, une interférence des deux traitements en mémoire avec le traitement temporel a été observée. En effet, un allongement des productions moyennes en fonction du nombre d'items à traiter dans l'ensemble mémoire a été obtenu. Cependant, les pentes des fonctions associées aux deux tâches en mémoire diffèrent significativement : la pente de la fonction des productions était significativement plus élevée dans la condition « traitement d'information d'ordre temporel » que dans la condition « traitement d'information d'item ». Selon Fortin et Massé (1999), ce résultat suggère que l'interférence du traitement en MCT avec le traitement temporel est reliée au niveau de difficulté de la tâche mnémonique effectuée.

L'interférence du traitement en mémoire avec le traitement temporel ne paraît pas être reliée à une méthode d'estimation temporelle particulière (Fortin, 1999). Elle a été observée avec une méthode de reproduction dans laquelle la tâche en mémoire est exécutée soit durant l'encodage de l'intervalle cible à reproduire, soit durant sa reproduction (Fortin & Couture, 2002; Fortin & Rousseau, 1998).

Ainsi, dans la première expérience de l'étude de Fortin et Rousseau (1998), la tâche en mémoire était combinée à la phase de reproduction de l'intervalle. Les items de l'ensemble mémoire faisaient partie d'un ensemble fermé de 10 chiffres et la taille de l'ensemble mémoire ainsi que les intervalles à reproduire variaient d'un essai à un autre. Un essai expérimental commençait par une présentation séquentielle des items de l'ensemble mémoire. Deux sons marquaient ensuite le début et la fin de l'intervalle à

reproduire. Le participant commençait ensuite sa reproduction. Un chiffre cible apparaissait et le participant terminait sa reproduction en indiquant si le chiffre faisait ou non partie de l'ensemble mémoire. L'essai se terminait par la présentation d'une rétroaction donnée par rapport à la performance de la recherche en mémoire. Les résultats ont révélé un allongement des reproductions moyennes en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire, donc de la durée du traitement à effectuer en MCT pendant la reproduction.

Dans la seconde expérience, la procédure était identique à celle de la première expérience avec la seule différence que la cible était présentée aux participants pendant la phase d'encodage de l'intervalle à reproduire. Les résultats ont montré un raccourcissement des reproductions temporelles moyennes en fonction de la taille de l'ensemble mémoire.

Fortin et Rousseau (1998) ont interprété les résultats obtenus dans le cadre des modèles d'accumulation de l'information temporelle (Church, 1984; Gibbon et al., 1984). Tel que l'illustre la Figure 3a, l'intervalle encodé correspondrait à un nombre critère d'indices temporels dans l'accumulateur qui serait transféré en mémoire pour une comparaison ultérieure. Durant la reproduction de l'intervalle, les indices seraient transférés de l'émetteur vers l'accumulateur jusqu'à ce que le nombre d'indices accumulés corresponde au nombre critère d'indices en mémoire. Le transfert des indices ne se ferait pas de façon continue. Un interrupteur localisé entre l'émetteur et l'accumulateur se fermerait pour permettre ce transfert. L'activation de l'interrupteur, et par conséquent le processus d'accumulation, serait sous le contrôle de l'attention (Meck, 1984, 1996).

Figure 3a

L'exécution d'une tâche en mémoire simultanément à l'encodage d'un intervalle à reproduire produirait un partage attentionnel interrompant le processus d'accumulation et se traduisant par un raccourcissement des reproductions temporelles. Durant l'encodage de l'intervalle, l'information temporelle est accumulée afin de définir un nombre critique d'indices temporels pour reproduire la durée cible. Tel que l'illustre la Figure 3b, si une tâche en mémoire interrompt le processus d'accumulation, le nombre d'indices accumulés sera moindre et la durée sera perçue et reproduite plus courte. Par contre, lorsque la tâche en mémoire est interrompée à la phase de reproduction d'un intervalle, l'interruption de l'accumulation des indices temporels par le traitement en mémoire produit un allongement des reproductions temporelles, car l'atteinte du nombre critique d'indices temporels correspondant à l'intervalle cible est retardée (Figure 3c).

Figures 3b, 3c

Selon Fortin et Rousseau (1998), l'interruption du processus d'accumulation est due au partage de ressources qui est engendré par l'exécution simultanée de la tâche en mémoire. Dans certaines situations expérimentales, le traitement en MCT semble donc jouer un rôle prédominant dans l'interférence d'une tâche concurrente avec une tâche temporelle.

1.6.3. Estimation temporelle et interruption du traitement temporel

Les résultats des études rapportées dans les sections précédentes suggèrent que le partage des ressources attentionnelles et des ressources en MCT entre une tâche temporelle et une tâche non temporelle concurrente produit une interférence qui est essentiellement attribuée à l'interruption du processus d'accumulation des indices temporels. Cependant, cette interruption n'a jamais été testée directement et a été inférée à partir des effets observés de la tâche non temporelle sur la tâche temporelle. Par conséquent, son effet ne peut pas être dissocié de l'effet du traitement concurrent nécessaire à la tâche non temporelle (Fortin & Massé, 2000). En effet, l'exécution d'une tâche non temporelle concurrente peut non seulement interrompre l'accumulation temporelle mais aussi affecter la mémoire, par exemple en affectant son contenu (Casini & Macar, 1999).

Dans la recherche avec les animaux non humains, l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle a été largement étudié (e.g., Cabeza de Vaca, Brown, & Hemmes, 1995; Roberts, 1981; Roberts & Church, 1978). À cette fin, une procédure particulière appelée « *Gap procedure* » a alors été utilisée (Church, 1984). Fortin et Massé (2000) ont utilisé une procédure d'interruption de l'estimation temporelle similaire afin de dissocier l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle de l'effet du traitement de la tâche non temporelle concurrente.

Dans l'étude de Fortin et Massé (2000), des interruptions vides ont été introduites dans une tâche de production d'intervalles temporels. Aucune tâche concurrente n'était donc effectuée pendant l'interruption. Ainsi, le participant apprenait d'abord dans les sessions d'entraînement à produire un intervalle temporel cible en appuyant

successivement sur une touche, qui provoque l'émission d'un son continu durant la durée de l'intervalle. Ensuite, dans les sessions expérimentales, des interruptions du son ont été utilisées pour marquer une période durant laquelle la production du participant, et par conséquent son estimation du temps, devait être interrompue. Ainsi, la première pression de touche provoquait l'émission d'un son. Lorsque le son disparaissait, le participant avait pour consigne de suspendre momentanément son estimation temporelle, et de la reprendre lorsque le son reprenait à nouveau. Le participant recevait aussi la consigne de tenir compte du temps écoulé avant l'interruption. Lorsqu'il estimait que la somme du temps écoulé avant et après l'interruption était égale à la durée de l'intervalle cible, le participant devait appuyer sur la touche une seconde fois pour mettre fin à sa production. La durée de l'interruption du son ainsi que le moment où l'interruption apparaissait étaient variées. Les durées des intervalles cibles étaient aussi variées d'une expérience à une autre.

Un allongement général des productions temporelles, incluant la durée de l'interruption, par rapport à la durée cible à produire a été observé. Cet allongement était plus important lorsque la durée de l'interruption était plus longue. Selon Fortin et Massé (2000), cet allongement des productions est similaire à celui qui est observé lorsqu'un traitement en MCT est effectué simultanément à la production temporelle. Avec le traitement en mémoire, l'ampleur de l'effet d'interférence, et par conséquent la durée de l'interruption de l'accumulation temporelle, est proportionnelle à la durée des opérations en MCT. De manière similaire, les productions s'allongaient en fonction de la durée de la disparition du signal pendant laquelle l'accumulation des indices temporels était perturbée. Par ailleurs, un allongement des productions en fonction de l'allongement de la

durée pré-interruption a été aussi observé. En effet, plus l'interruption du son survenait tard dans la production, plus le participant produisait un intervalle long.

L'ensemble de ces résultats a été interprété dans le cadre des modèles d'accumulation d'indices temporels, selon lesquels l'attention contrôle le passage des indices de l'émetteur vers l'accumulateur (Meck, 1984; Zakay & Block, 1996). L'attente de l'interruption causerait un partage attentionnel entre le processus d'accumulation des indices et l'attente de l'interruption du son. Le partage des ressources perturberait le processus d'accumulation. Moins d'indices seraient accumulés pendant la période pré-interruption et une plus longue durée post-interruption serait nécessaire à l'atteinte du nombre critère d'indices correspondant à l'intervalle cible, d'où l'allongement des productions temporelles (Figure 4). Ainsi plus l'interruption apparaissait tardivement, plus l'interférence entre l'accumulation des indices et l'attente de l'interruption durait longtemps et plus les participants produisaient des intervalles longs.

Figure 4

Selon Fortin et Massé (2000), l'effet de la localisation d'interruption n'est pas dû à l'interruption elle-même, mais à son attente. Lorsque des essais sans interruptions ont été ajoutés aux essais avec interruption, l'allongement des productions temporelles a été plus important dans les essais sans interruption, puisque le participant attendait l'interruption pendant la majeure partie de l'intervalle cible. Cette interprétation de l'effet de la localisation de l'interruption a déjà été proposée par des auteurs tels que Rousseau et al.

(1984) ainsi que Casini et Macar (1997) et a été confirmée par les résultats d'une autre expérience menée par Fortin et Massé.

Dans cette expérience, l'attente de l'interruption a été réduite par la présentation d'un signal avertisseur de l'absence d'interruption dans l'essai suivant et dont les résultats ont montré que la réduction de l'attente abolissait l'effet de la localisation de l'interruption. Ainsi, le participant devait produire un intervalle cible qui pouvait ou non être interrompu. Un signal précédant le début de la moitié des essais sans interruption avertissait le participant que le son ne serait pas interrompu. L'autre moitié des essais sans interruption ne comportait aucun avertissement préalable. Les résultats obtenus ont montré que les productions temporelles étaient plus courtes dans les essais sans interruption mais avec avertissement par rapport aux essais sans interruption et sans avertissement. La moyenne des productions temporelles dans la condition avertie était, cependant, supérieure à la valeur de l'intervalle cible. Fortin et Massé (2000) ont conclu que l'avertissement présenté au début des essais sans interruption ne permettait pas d'abolir complètement l'effet de la localisation, car un certain niveau d'attente restait présent chez le participant, même lorsqu'il savait qu'il n'y aurait pas d'interruption.

L'attente de l'interruption causerait donc un partage attentionnel qui perturberait le processus d'accumulation des indices et interfèrerait ainsi avec l'estimation de la durée perçue. Cet effet d'interférence dû à l'attente est robuste puisqu'en manipulant la proportion des essais avec interruption, les modalités des stimuli utilisés ou la méthode d'estimation temporelle employée, l'effet de la localisation de l'interruption ne disparaît pas (Burle & Casini, 2001; Casini & Macar, 1997; Fortin, Bédard, & Champagne, 1999; Macar, 2002; Tremblay & Fortin, 2003). Cet effet d'interférence a aussi été observé

lorsque non pas la localisation d'une interruption, mais plutôt la localisation d'une tâche non temporelle concurrente à une tâche temporelle est manipulée (Burle & Casini, 2001; Macar, 2002). En effet, Burle et Casini (2001) ont obtenu un allongement des intervalles produits en fonction de l'allongement de la durée précédant l'apparition d'une tâche de discrimination visuelle effectuée pendant la production. Comme Fortin et Massé (2000), ces auteurs ont attribué cette interférence au partage attentionnel causé par l'attente de la tâche non temporelle.

Les méthodes, modèles et interprétations revus dans les sections qui précèdent ont été proposés pour expliquer l'effet d'interférence dans la recherche sur l'estimation du temps. Les expériences menées dans le cadre de la présente thèse étudient l'interférence avec les deux phases d'une tâche de reproduction temporelle. Nous ferons donc référence à certains de ces concepts et méthodes discutés ci-dessus.

1.7. Objectifs et hypothèses

L'attente d'une interruption de l'estimation temporelle ainsi que l'exécution concurrente d'une tâche non temporelle pendant l'estimation d'intervalles perturbent l'accumulation des indices temporels et interfèrent avec la tâche temporelle. Cette interférence se traduit par un raccourcissement de la durée perçue, généralement interprété dans le cadre des modèles d'accumulation d'information temporelle. L'ampleur de cette interférence avec l'encodage et la reproduction d'intervalles temporels ne semble cependant pas être la même. Par exemple, dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998), bien que la tâche en mémoire traitée pendant l'encodage et la reproduction soit la même, l'augmentation de la durée du traitement en mémoire semble avoir un effet plus fort lorsque ce traitement prend place pendant la phase de reproduction. Ainsi, dans des

conditions relativement similaires, la magnitude de l'interférence d'une même tâche non temporelle avec les deux phases d'une même tâche temporelle semble être différente, suggérant un effet d'interférence asymétrique¹ du traitement en mémoire avec l'encodage et la reproduction d'intervalles de temps.

De la même manière que la nature des ressources spécifiques impliquées dans les tâches non temporelles pourrait constituer un facteur contribuant à la diversité et à la nature parfois contradictoire des résultats dans l'étude de l'interférence de tâches non temporelles avec la production temporelle (Brown, 1997), l'hypothèse principale de la présente thèse est que la nature des processus et des ressources spécifiques impliqués dans l'encodage et dans la reproduction d'intervalles pourrait être à l'origine de l'asymétrie observée dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998). De façon plus précise, l'interférence asymétrique observée a posteriori dans l'étude de Fortin et Rousseau serait due au fait que l'encodage et la reproduction temporels n'impliqueraient pas les mêmes processus et ne nécessiteraient pas les mêmes ressources. En particulier, la phase de reproduction nécessiterait un processus de comparaison qui n'est pas requis pendant l'encodage temporel et le partage de ressources entre ce processus et le traitement non temporel concurrent serait à l'origine de l'asymétrie observée dans cette étude.

L'objectif principal de la thèse est de vérifier et de tester de façon spécifique si l'interférence de traitement non temporel avec la tâche de reproduction temporelle diffère selon que le traitement non temporel soit effectué pendant la phase d'encodage ou la phase de reproduction d'intervalles de temps. Le contrôle expérimental de la similarité des conditions dans lesquelles les tâches non temporelles seront combinées aux deux

¹ Le terme *asymétrique* est utilisé dans le cadre de la présente thèse pour faire référence à un effet d'interférence *différent* selon que le traitement non temporel prenne place pendant l'encodage ou la reproduction temporels.

phases de la tâche temporelle, dans une même expérience, permettra d'abord de confirmer l'asymétrie d'interférence. Cet objectif répondra aussi à une limite de l'étude de Fortin et Rousseau (1998) dont les résultats ne permettent pas de conclure que la différence des processus et des ressources impliqués pendant les deux phases de la tâche temporelle soit l'unique cause de l'effet observé. En effet, dans l'étude de Fortin et Rousseau, l'interférence du traitement en mémoire avec les deux phases de la reproduction temporelle a été observée dans deux expériences distinctes faisant recours à deux groupes différents de participants et des différences individuelles pourraient avoir contribué à un tel résultat.

Par ailleurs, la manipulation et l'analyse des processus et des ressources impliqués dans le traitement non temporel combiné aux deux phases de la tâche de reproduction temporelle, dans une même expérience, permettront d'étudier l'origine de cette asymétrie. Cet objectif répondra à une autre limite de l'étude de Fortin et Rousseau (1998), relative à l'utilisation d'une seule tâche en mémoire combinée à la reproduction d'intervalles. Dans la présente thèse, les processus et les ressources requis par les traitements concurrents à la tâche de reproduction seront différents d'une expérience à une autre et leur interférence avec la phase d'encodage sera comparée à l'interférence observée dans la phase de reproduction.

L'utilisation de différents traitements concurrents aux deux phases de la tâche de reproduction permettra d'aborder trois problématiques correspondant à des objectifs plus spécifiques. La première problématique abordée concerne l'analyse de l'effet de la récupération d'information en mémoire sur l'encodage et sur la reproduction de durées (Expériences 1 et 2). Deux tâches en mémoire nécessitant la récupération d'information

d'item (Expérience 1) et la récupération d'information d'ordre temporel d'item (Expérience 2) dans un ensemble mémoire seront ainsi combinées aux deux phases de la tâche de reproduction d'intervalles temporels. Tous les participants d'une expérience seront soumis aux mêmes conditions et situations expérimentales afin de permettre la comparaison de l'effet du traitement en mémoire sur l'encodage à son effet sur la reproduction.

La deuxième problématique abordée concerne l'étude de l'effet de l'encodage d'information en mémoire sur l'encodage et sur la reproduction de durées (Expérience 3). Bien que l'interférence de la *récupération* d'information en mémoire avec l'estimation temporelle ait été démontrée dans plusieurs expériences (e.g., Fortin & Rousseau, 1998), aucune étude n'a examiné, à ce jour, l'effet de l'*encodage* d'information en mémoire sur l'estimation temporelle. Ainsi, l'encodage d'information d'ordre spatial d'item dans un ensemble mémoire sera combiné à l'encodage et à la reproduction d'intervalles temporels. Comme dans les deux premières expériences, les participants prendront part aux deux conditions de l'expérience afin de permettre la comparaison de l'effet du traitement concurrent sur l'encodage à son effet sur la reproduction.

La troisième problématique abordée concerne l'analyse de l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle sur la tâche de reproduction temporelle (Expérience 4). Bien que plusieurs études aient étudié l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle sur une tâche de production temporelle (e.g., Fortin & Massé, 2000), aucune d'entre elles n'a examiné l'effet de l'interruption sur les deux phases de la tâche de reproduction d'intervalles. Ainsi, l'encodage et la reproduction d'intervalles seront interrompus et l'effet de cette interruption sera comparé dans les deux conditions.

Il est attendu que les traitements en mémoire ainsi que l'interruption de l'estimation temporelle interféreront avec les deux phases de la tâche de reproduction. Une première hypothèse est que cette interférence se traduirait par un raccourcissement des intervalles reproduits lorsque les traitements concurrents et l'interruption seront combinés à la phase d'encodage. Une seconde hypothèse est que l'interférence se traduirait par un allongement des intervalles reproduits lorsque ces derniers seront combinés à la phase de reproduction.

Il est également attendu que dans chaque expérience, la comparaison des effets d'interférence observés permettra de conclure quant à la présence ou non d'une interférence asymétrique. Ainsi, si cette asymétrie existe, la manipulation de la durée du traitement en mémoire ou de la localisation de l'interruption de l'estimation temporelle devrait affecter de façon plus ou moins forte les reproductions temporelles selon que le traitement non temporel ou l'interruption soit combiné à la phase d'encodage ou à la phase de reproduction d'intervalle comme dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998).

2. Méthode générale

La présente section a pour objet de présenter la méthodologie commune aux différentes expériences menées dans le cadre de cette thèse.

2.1. *Participants*

Tous les participants sont recrutés à l'aide d'affiches posées à l'Université Laval. Ils reçoivent une compensation monétaire pour leur participation à l'expérience et n'ont aucune connaissance préalable des hypothèses de la recherche. Aucun participant ne prend part à plus d'une expérience.

2.2. *Appareils et stimuli*

Un ordinateur de type PC IBM est utilisé lors des expériences. Les instructions et les stimuli apparaissent en blanc sur un écran noir de type VGA couleur de 20 cm X 27 cm. Le déroulement des expériences et l'enregistrement des données sont contrôlés par le logiciel *Micro Experimental Laboratory* (MEL). Dans l'ensemble des expériences rapportées, la méthode de reproduction temporelle est employée. Les intervalles temporels sont mesurés au millième de seconde (ms). Les participants sont testés individuellement dans une chambre insonorisée afin de minimiser les distractions externes à l'expérience. Ils sont assis à environ 60 cm de l'écran. Les reproductions temporelles ainsi que les réponses relatives à la tâche en mémoire sont effectuées par la pression d'une de quatre touches du clavier, spécifiques à la tâche. Les items utilisés au cours des expériences font partie d'un ensemble fermé de 10 lettres (A, D, E, G, M, P, R, S, T, W). La taille de l'ensemble mémoire est fixée à deux ou quatre lettres différentes. Les lettres, la cible et les intervalles à reproduire dans une expérience sont sélectionnés aléatoirement. Afin d'augmenter la généralité des résultats obtenus et de pallier certaines contraintes méthodologiques, les durées cibles sont modifiées d'une expérience à une autre. Le début des expériences ainsi que le début de chaque bloc et de chaque essai sont contrôlés par les participants. Ces derniers disposent par ailleurs d'une pause de 30 secondes entre un bloc et un autre, qui peut être prolongée si les participants n'appuient pas sur la touche qui déclenche le début du bloc.

2.3. *Procédure*

La procédure est généralement la même pour les quatre expériences. Les participants commencent l'expérience avec une session d'entraînement à la reproduction d'intervalles

temporels, suivie, dans les trois premières expériences, d'une session d'entraînement à la tâche en mémoire dans un paradigme de Temps de Réaction (TR). Les dernières sessions expérimentales consistent en une combinaison des deux tâches dans un paradigme de double tâche. En ce qui concerne la quatrième expérience, aucune tâche en mémoire n'est combinée à la reproduction temporelle qui est plutôt interrompue dans les sessions expérimentales. Au début de chaque session, des consignes spécifiques orales et écrites concernant la tâche à effectuer pendant la session sont données aux participants. La durée moyenne des sessions est d'environ 40 minutes. Les participants peuvent effectuer un maximum de deux sessions par jour, séparées par un délai d'au moins une heure.

Un essai expérimental de la session Reproduction d'intervalles temporels commence par la présentation de l'intervalle à reproduire, délimité par deux sons successifs. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite au centre de l'écran et lorsque prêt, le participant appuie une première fois sur la barre d'espacement pour commencer sa reproduction de l'intervalle, et une seconde fois pour la finir lorsqu'il estime que la durée qui s'est écoulée entre ses deux frappes est égale à la durée de l'intervalle présenté. Une rétroaction visuelle « TROP COURT », « CORRECT » ou « TROP LONG » est fournie au participant à la fin de chaque essai dans les deux premiers blocs (Expérience 1) et dans le premier bloc uniquement (Expériences 2, 3 et 4) afin de stabiliser ses reproductions. L'intervalle reproduit est considéré comme étant correct s'il se situe à l'intérieur d'une limite de plus ou moins 5 % de la valeur cible, par exemple entre 2100 et 1900 ms pour un intervalle cible de 2000 ms. Aucune rétroaction n'est fournie dans les derniers blocs de la session. Le nombre d'essais pour les valeurs des durées cibles est contrebalancé à l'intérieur de chaque bloc.

Un essai expérimental de la session Traitement d'information en mémoire commence par la présentation des lettres de l'ensemble mémoire. L'ensemble mémoire peut être constitué de deux ou de quatre lettres présentées successivement (Expériences 1 et 2) ou simultanément (Expérience 3) au centre de l'écran au rythme de 500 ms par lettre. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible. Dans les essais positifs, le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » qui remplace la touche « 1 » du clavier numérique. Dans les essais négatifs, il doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « NON » qui remplace la touche « 3 ». Une rétroaction visuelle « CORRECT » ou « ERREUR » est fournie au participant à la fin de chaque essai afin de renforcer l'exécution précise de la tâche. Le nombre d'essais positifs et négatifs est contrebalancé à l'intérieur de chaque bloc.

Le déroulement des essais en double tâche est décrit dans la section Procédure spécifique à chaque expérience.

2.4. Résultats

Trois variables sont mesurées et analysées : les reproductions temporelles des participants, leurs TR et les pourcentages de réponses erronées à la tâche en mémoire. Les données extrêmes, dont les valeurs sont inférieures ou supérieures à trois écart-types de la moyenne de la variable étudiée ainsi que les essais qui comportent une erreur dans la tâche en mémoire sont éliminés des analyses effectuées sur les temps de réponse (reproductions temporelles et TR). Les effets dont la probabilité est inférieure à .05 sont considérés statistiquement significatifs. Le niveau de signification statistique choisi pour les tests d'effets simples a été déterminé en utilisant la procédure de Bonferroni.

3. Expériences

3.1. *Expérience 1*

L'objectif de cette expérience est d'étudier l'interférence de la récupération d'information d'item en mémoire avec l'encodage et avec la reproduction d'intervalles temporels et de vérifier si l'interférence observée est différente ou non. Tous les participants sont soumis aux mêmes conditions d'expérimentation afin de permettre la comparaison des résultats obtenus. Comme dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998), un raccourcissement des reproductions en fonction de l'augmentation de la quantité de traitement en mémoire est attendu lorsque la tâche en mémoire est effectuée pendant l'encodage temporel, alors qu'un allongement des reproductions temporelles en fonction de l'augmentation la quantité de traitement en mémoire est attendu lorsque la tâche en mémoire est combinée à la phase de reproduction. L'analyse des pentes des fonctions de reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la quantité de traitement en mémoire permettra de tester l'interférence asymétrique du traitement en mémoire avec les deux phases de la tâche de reproduction. Si la tâche en mémoire interfère davantage avec la phase de reproduction temporelle, la moyenne des pentes des fonctions de reproductions sera plus forte lorsque le traitement en mémoire est combiné à la phase de reproduction, traduisant ainsi une ampleur d'interférence plus importante.

3.1.1. *Participants*

L'échantillon de l'étude est constitué de vingt participants, 15 femmes et 5 hommes âgés entre 19 et 54 ans ($M = 26$, $ET = 8.31$). Ils reçoivent une compensation monétaire de 20 \$ pour leur participation à l'expérience.

3.1.2. Stimuli

La taille de l'ensemble mémoire est manipulée d'un bloc à un autre. Les lettres, la cible (lettre) et les intervalles à reproduire (2400, 2800 et 3200 ms) sont sélectionnés aléatoirement et varient d'un essai à l'autre.

3.1.3. Procédure

Les participants prennent part à quatre sessions expérimentales comportant chacune quatre blocs de 24 essais. Les quatre blocs sont des blocs de traitement d'information d'item en mémoire et / ou de reproduction d'intervalles temporels. Tel que l'illustrent les Figures 5a et 5b, les participants commencent l'expérience avec une session d'entraînement à la reproduction d'intervalles temporels, suivie par une session d'entraînement à la tâche de traitement d'information d'item en mémoire dans un paradigme de TR. Les deux dernières sessions consistent en une combinaison des deux tâches dans un paradigme de double tâche : Récupération en Mémoire pendant Encodage Temporel (condition RM / ET) et Récupération en Mémoire pendant Reproduction Temporelle (condition RM / RT). L'ordre de présentation de ces deux dernières sessions est contrebalancé de façon à ce que la moitié des participants effectuent la session RM / ET en premier, suivie par la session RM / RT, alors que l'autre moitié est assignée aux deux sessions dans l'ordre inverse.

Figures 5a, 5b

Un essai expérimental de la session Reproduction d'intervalles temporels est décrit dans la section Procédure de la méthode générale utilisée dans les expériences rapportées.

Un essai expérimental de la session Traitement d'information d'item en mémoire commence par la présentation séquentielle des lettres de l'ensemble mémoire. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible (lettre). La lettre peut appartenir (essai positif) ou non (essai négatif) à l'ensemble mémoire présenté. Le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » pour donner sa réponse. Une rétroaction visuelle lui est fournie à la fin de chaque essai.

Lors de la session RM / ET, un essai commence par la présentation séquentielle des lettres de l'ensemble mémoire. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer l'encodage de l'intervalle temporel à reproduire. Un son marque le début et la fin de cet intervalle. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une cible (lettre) apparaît au centre de l'écran. La tâche du participant consiste à répondre le plus rapidement possible si la lettre faisait ou non partie de l'ensemble mémoire présenté au préalable. Comme dans la session d'entraînement à la tâche en mémoire, le participant doit appuyer sur la touche « OUI » si l'essai est positif, sinon sur la touche « NON ». Le participant reçoit la consigne de répondre le plus rapidement possible à la tâche en mémoire tout en faisant le minimum d'erreurs. Il reçoit aussi la consigne de poursuivre son estimation de l'intervalle temporel pendant l'émission de sa réponse. Lorsque la présentation de l'intervalle est terminée, le mot « REPRODUCTION » apparaît. Le participant doit appuyer sur la barre d'espace pour commencer et finir sa reproduction. À la fin de chaque essai, une rétroaction visuelle « CORRECT » ou « ERREUR » est fournie au

participant par rapport à sa réponse à la tâche en mémoire et reste présente jusqu'à ce que le participant décide de commencer un nouvel essai. Aucune rétroaction n'est donnée au participant quant à la précision de ses reproductions temporelles.

Lors de la session RM / RT, un essai expérimental commence par la présentation de l'intervalle à reproduire. Un son marque le début et la fin de cet intervalle. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer l'encodage de l'ensemble des lettres à mémoriser. Après la fin de la présentation de l'ensemble mémoire, le mot « REPRODUCTION » apparaît et lorsque prêt à commencer sa reproduction, le participant appuie sur la barre d'espace. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une lettre est présentée. Le participant doit appuyer sur la touche « OUI » ou « NON » si l'essai est positif ou négatif respectivement. Le participant reçoit les mêmes consignes que dans la condition « RM / ET » par rapport à l'exécution des deux tâches. Une rétroaction concernant sa réponse à la tâche en mémoire lui est fournie à la fin de chaque essai.

Dans les sessions RM / ET ainsi que RM / RT, le nombre d'essais positifs et négatifs de même que le nombre d'essais pour les trois valeurs des durées cibles sont contrebalancés à l'intérieur de chaque bloc.

3.1.4. Résultats et discussion

Sept mille six cent quatre-vingt données ont été collectées. Parmi elles, les données de trois participants ont été éliminées. Deux de ces participants n'ont pas compris comment effectuer la double tâche alors que le troisième a abandonné l'expérience. Les données de ces participants représentent 15 % du nombre de données initiales obtenues.

L'ensemble des analyses a donc été effectué sur les données de 17 participants, ce qui représente un total de 6528 données.

3.1.4.1. Reproduction d'intervalles temporels. Dans les essais d'entraînement à la reproduction, 0.4 % des données finales utilisées ont été éliminées (reproductions extrêmes). Les moyennes et écart-types des reproductions pour chacune des trois durées sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1

Une analyse de variance à mesures répétées effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles indique que les reproductions varient significativement selon les trois durées des intervalles cibles ce qui montre que les participants effectuaient la tâche correctement et reproduisaient trois intervalles temporels différents, $F(2, 32) = 208.49, p < .0001$.

3.1.4.2. Traitement d'information d'item en mémoire dans un paradigme de TR. Les essais qui comportent des erreurs à la tâche en mémoire et qui représentent 3.3 % des données ainsi que les essais qui comportent des moyennes de TR extrêmes (1.9 % des données) ont été éliminés. Les moyennes et écart-types des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2

Des analyses de variance à mesures répétées à deux facteurs (taille de l'ensemble mémoire et type d'essai - positif, négatif -) ont été effectuées sur les TR moyens calculés et sur les pourcentages d'erreurs enregistrées dans la tâche en mémoire. L'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire produit un allongement significatif des TR, $F(1, 16) = 9.03, p < .008$. Le type d'essai et l'interaction entre ces deux variables n'ont aucun effet sur les TR, $F < 1$. Les manipulations de la taille de l'ensemble mémoire et du type d'essai n'ont aucun effet sur les erreurs, $F < 1$ et $F(1, 16) = 2.13, p = .16$ respectivement. L'interaction entre ces deux variables n'est pas significative, $F < 1$.

3.1.4.3. Récupération en Mémoire pendant Encodage et Reproduction Temporels : *RM/ET ; RM/RT.* L'analyse des moyennes des reproductions temporelles enregistrées dans les deux conditions permet d'étudier l'effet de la récupération d'information en mémoire sur la tâche temporelle. Les essais qui comportent des reproductions temporelles extrêmes ont été éliminés. Ils représentent 1.0 % et 0.9 % des données finales utilisées dans les conditions RM / ET et RM / RT respectivement. La Figure 6 illustre les moyennes des reproductions en fonction de la taille de l'ensemble mémoire dans les deux conditions.

Figure 6

Une analyse de variance à mesures répétées à deux facteurs (taille de l'ensemble mémoire et durée à reproduire) a été effectuée sur les reproductions moyennes calculées pour chacune des trois durées et des deux tailles de l'ensemble mémoire et présentées dans les Tableaux 3 et 4.

Tableaux 3, 4

Tel que le montrent les Tableaux 5 et 6, les reproductions varient, dans les deux conditions, selon les trois durées des intervalles cibles ce qui confirme la reproduction de trois intervalles temporels différents, RM / ET : $F(2, 32) = 45.64, p < .0001$ et RM / RT : $F(2, 32) = 70.72, p < .0001$.

Dans la condition RM / ET, l'exécution de la tâche en mémoire n'affecte pas significativement les reproductions, $F(1, 16) = 1.26, p = .27$, et l'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et la durée à reproduire n'est pas significative, $F < 1$.

Dans la condition RM / RT, un allongement significatif des reproductions moyennes en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire est observé, $F(1, 16) = 4.84, p < .04$. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et la durée à reproduire n'est pas significative, $F < 1$. La récupération d'information d'item en mémoire semble donc interférer de façon significative avec la phase de reproduction d'intervalles. Cette interférence est positivement reliée à la taille de l'ensemble mémoire. En effet, les pentes des fonctions des reproductions sont positives et sont de 67, 41 et 56 ms pour les durées de 2400, 2800 et 3200 ms respectivement.

Tableaux 5, 6

Une analyse effectuée sur ces pentes révèle qu'elles sont plus élevées dans la condition RM / RT (61 ms) que dans la condition RM / ET (-22 ms), $F(1, 16) = 5.76$,

$p < .03$. Ce résultat est particulièrement important, car il montre que dans des conditions expérimentales similaires, l'ampleur de l'interférence de la récupération d'information en mémoire avec l'encodage et la reproduction temporels est différente. La même tâche affecte davantage la phase de reproduction que la phase d'encodage. Ainsi, l'interférence asymétrique du traitement en mémoire avec l'encodage et la reproduction d'intervalles observée a posteriori dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998) est confirmée.

Afin d'analyser l'effet général de l'introduction de la tâche en mémoire sur la tâche temporelle, les reproductions des participants dans les essais d'entraînement à la reproduction d'intervalles sans rétroaction ont été comparées à leurs reproductions en double tâche. Tel que l'illustre la Figure 7, les reproductions des participants dans les essais de la condition RM / ET sont généralement plus courtes que dans les essais d'entraînement, alors que leurs reproductions dans les essais de la condition RM / RT sont plus longues. Cependant, les analyses effectuées sur ces reproductions révèlent que les durées reproduites à l'entraînement ne diffèrent pas des durées reproduites en double tâche, $F(1, 16) = 1.08, p = .31$ pour la condition RM / ET et $F < 1$ pour la condition RM / RT.

Figure 7

L'interférence asymétrique du traitement en mémoire ne semble pas être due au fait que les participants accordaient plus d'importance à la tâche en mémoire pendant une phase de la tâche temporelle par rapport à une autre. Tel que le montrent les Tableaux 7 et 8, les moyennes des TR enregistrés sont en effet semblables dans les deux conditions,

$F < 1$. De plus, les pourcentages d'erreurs enregistrées sont minimales (5.5 % et 5.2 % pour RM / ET et RM / RT respectivement) et semblables dans les deux conditions, $F < 1$.

L'analyse de variance à mesures répétées effectuée sur ces pourcentages révèle que la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire n'a aucun effet sur les erreurs enregistrées, $F(1, 16) = 3.33, p = .08$ pour la condition RM / ET et $F(1, 16) = 3.06, p = .09$ pour la condition RM / RT. Le même pourcentage d'erreurs est observé quel que soit le type d'essai, $F < 1$, et quelle que soit la durée de l'intervalle, $F < 1$, dans les deux conditions. La taille de l'ensemble mémoire n'interagit ni avec le type d'essai, $F < 1$, ni avec la durée à reproduire, $F(2, 32) = 1.3, p = .2$.

Tableaux 7, 8

L'allongement significatif des reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la quantité de traitement en mémoire observé dans la condition RM / RT est similaire à celui qui a été observé dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998). En ce qui concerne les résultats obtenus dans la condition RM / ET, trois facteurs auraient pu contribuer à l'absence d'un effet d'interférence statistiquement significatif de la récupération d'information en mémoire avec l'encodage temporel. Un premier facteur qui pourrait être relevé est que la tâche en mémoire utilisée dans la présente expérience - traitement d'information d'item en mémoire - aurait pu être facile à effectuer. Déterminer si une lettre faisait ou non partie d'un ensemble mémoire de deux ou de quatre lettres aurait pu nécessiter peu de ressources en mémoire et ainsi peu affecter le traitement de l'information temporelle concurrente. Dans l'étude de Fortin et Rousseau

(1998), la tâche en mémoire effectuée simultanément à l'encodage et à la reproduction temporels aurait pu être plus exigeante du point de vue des ressources mnémoniques puisque le participant devait déterminer si la cible faisait partie d'un ensemble mémoire d'une, trois ou six lettres. Par conséquent, un traitement en mémoire plus exigeant sera combiné à la reproduction temporelle dans l'Expérience 2 de la présente thèse. La tâche en mémoire utilisée dans cette expérience nécessitera un traitement d'information d'ordre temporel. Le traitement d'information d'ordre nécessite davantage de ressources mnémoniques que le traitement d'information d'item (Fortin & Massé, 1999), par conséquent un effet d'interférence de la tâche en mémoire avec l'encodage temporel devrait être observé.

Un second facteur qui pourrait être relevé est que la manipulation inter-blocs de la taille de l'ensemble mémoire aurait pu permettre aux participants de développer des stratégies efficaces pour chaque taille de l'ensemble mémoire (par exemple, formation de mots) et faciliter ainsi la tâche en mémoire. Shinohara (1999) a observé dans son étude que de pareilles stratégies peuvent être développées avec la pratique et améliorer la performance à la tâche temporelle dans des situations de double tâche. Comme dans l'expérience de Fortin et Rousseau (1998), la taille de l'ensemble mémoire sera manipulée d'un essai à un autre dans l'Expérience 2.

Un troisième facteur qui pourrait être relevé est que l'introduction de la réponse de TR pendant l'encodage temporel aurait pu créer une certaine pression temporelle chez les participants et les détourner de la tâche temporelle. La réponse par rapport à la tâche en mémoire dans l'Expérience 2 sera retardée et fournie après l'encodage ou la reproduction de l'intervalle (Fortin & Rousseau, 1998).

3.2. *Expérience 2*

L'objectif de cette expérience est similaire à celui de la première expérience. Il s'agit dans cette expérience aussi d'étudier l'interférence de la récupération d'information en mémoire avec l'encodage et avec la reproduction d'intervalles temporels et de confirmer l'interférence asymétrique observée dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998) ainsi que dans l'Expérience 1 avec une nouvelle tâche en mémoire.

La tâche en mémoire utilisée dans la présente expérience sollicite davantage de ressources mnémoniques et un effet d'interférence significatif devrait être observé aussi bien lorsque celle-ci est combinée à l'encodage qu'à la reproduction des intervalles temporels. Pour que l'interférence asymétrique soit confirmée, la moyenne des pentes des fonctions de reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la quantité de traitement en mémoire devrait être plus forte lorsque la tâche en mémoire est combinée à la reproduction que lorsqu'elle est combinée à l'encodage d'intervalles.

3.2.1. *Participants*

L'échantillon de l'étude est constitué de 15 participants, 8 femmes et 7 hommes âgés entre 18 et 58 ans ($M = 28$, $ET = 11.33$). La compensation monétaire est similaire à celle de l'Expérience 1.

3.2.2. *Stimuli*

Les stimuli sont similaires à ceux utilisés dans la première expérience à l'exception que la tâche en mémoire exécutée durant la tâche temporelle nécessite le traitement d'information d'ordre temporel. Contrairement à l'Expérience 1, la taille de l'ensemble mémoire ($n = 2$ ou 4 lettres) varie d'un essai à un autre plutôt que d'un bloc à un autre.

Les durées des intervalles cibles ont été, elles aussi, modifiées en raison de la longueur des essais expérimentaux dans l'Expérience 1. Les intervalles à reproduire (1600, 2000 et 2400 ms), les lettres de l'ensemble mémoire ainsi que la cible (lettre + chiffre) sont sélectionnés aléatoirement et varient d'un essai à l'autre.

3.2.3. Procédure

Les participants prennent part à deux sessions expérimentales comportant chacune sept blocs de 24 essais. Les sept blocs sont des blocs de traitement d'information d'ordre temporel en mémoire et / ou de reproduction d'intervalles temporels. Tel que l'illustrent les Figures 8a et 8b, les participants commencent la session avec un bloc d'entraînement à la tâche de traitement d'information d'ordre temporel dans un paradigme de TR, suivi par deux blocs d'entraînement à la reproduction d'intervalles. Les quatre derniers blocs consistent en une combinaison des deux tâches (RM / ET ou RM / RT). L'ordre d'exécution des deux sessions est contrebalancé de façon à ce que la moitié des participants soit soumise à la session RM / ET, suivie par la session RM / RT, alors que l'autre moitié des participants soit assignée aux deux sessions dans l'ordre inverse. Le déroulement général des essais est similaire à celui de l'Expérience 1.

Figures 8a, 8b

Un essai expérimental du bloc Traitement d'information d'ordre temporel en mémoire commence par la présentation séquentielle des lettres de l'ensemble mémoire. Le participant reçoit la consigne de retenir l'ordre dans lequel les lettres sont présentées. La cible (lettre + chiffre) est ensuite présentée. Le chiffre peut correspondre (essai positif)

ou non (essai négatif) à la position temporelle de la lettre dans l'ensemble mémoire. Le participant doit fournir sa réponse le plus rapidement possible en appuyant sur l'une des deux touches « OUI » ou « NON ». Une rétroaction visuelle concernant le jugement de la position temporelle de la lettre est fournie à la fin de chaque essai.

Un essai expérimental du bloc Reproduction d'intervalles temporels est décrit dans la section Procédure de la méthode générale utilisée dans les expériences rapportées. La rétroaction concernant la performance du participant à la reproduction temporelle lui est fournie uniquement à la fin de chaque essai dans le premier bloc de chaque session.

Un essai des blocs RM / ET commence par la présentation de l'ensemble mémoire. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer l'encodage de l'intervalle temporel à reproduire. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une cible (lettre + chiffre) apparaît au centre de l'écran. Le participant doit vérifier si le chiffre correspond ou non à la position temporelle de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté au préalable tout en continuant d'estimer l'intervalle de temps. Aucune réponse n'est donnée pendant l'encodage de l'intervalle. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite. Si l'essai est positif, le participant doit appuyer sur la touche « OUI » pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle. Sinon, il effectue la reproduction en appuyant successivement sur la touche « NON ». À la fin de chaque essai, une rétroaction est fournie au participant par rapport à sa réponse à la tâche en mémoire.

Un essai des blocs RM / RT se déroule de façon identique aux essais RM / RT de l'Expérience 1, sauf que la cible présentée se compose d'une lettre et d'un chiffre et que le participant commence sa reproduction de l'intervalle temporel en appuyant sur la

touche « 2 » et la finit en appuyant, soit sur la touche « OUI », soit la touche « NON ».

Le participant fournit donc sa réponse à la tâche en mémoire au moment où il met fin à sa reproduction de l'intervalle temporel.

3.2.4. Résultats et discussion

Cinq mille quarante données ont été collectées. Parmi elles, les données d'un participant ont été éliminées en raison de son incompréhension de la tâche, ce qui représente 6.6 % des données initiales obtenues. L'ensemble des analyses a donc porté sur les données de 14 participants qui représentent 4704 données.

3.2.4.1. Traitement d'information d'ordre temporel en mémoire dans un paradigme de TR. Les essais qui comportent des erreurs à la tâche en mémoire ont été éliminés, ce qui représente 4.5 % des données collectées initialement. Les moyennes des TR extrêmes ont été éliminées aussi, ce qui représente 1.4 % des données finales utilisées. Les moyennes et écart-types des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9

Un allongement significatif des moyennes des TR en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire, $F(1, 13) = 157.36, p < .0001$, et en fonction du type d'essai, $F(1, 13) = 13.99, p < .002$, a été obtenu. Les TR sont plus longs lorsque l'essai est négatif, probablement parce que les participants procèdent à une double vérification lorsque le chiffre n'indique pas la bonne position de la cible dans l'ensemble mémoire.

L'interaction entre ces deux variables n'est pas significative, $F < 1$. Ni la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire ni la manipulation du type d'essai n'a d'effet sur les pourcentages d'erreurs, $F < 1$ et $F(1, 13) = 1.31, p = .27$ respectivement. L'interaction entre ces deux variables n'est pas significative non plus, $F < 1$.

3.2.4.2. Reproduction d'intervalles temporels. Les reproductions temporelles extrêmes, représentant 0.5 % des données finales utilisées, ont été éliminées. Les moyennes et écart-types des reproductions pour chacune des trois durées sont présentés dans le Tableau 10.

Tableau 10

Les reproductions varient selon la durée de l'intervalle cible, ce qui montre que les participants effectuaient correctement la tâche temporelle, $F(2, 26) = 88.89, p < .0001$.

3.2.4.3. Récupération en Mémoire pendant Encodage et Reproduction Temporels : *RM/ET ; RM/RT.* Les reproductions extrêmes ont été éliminées, ce qui représente 1.1% des données finales dans les deux conditions. La Figure 9 illustre les moyennes des reproductions en fonction de la taille de l'ensemble mémoire.

Figure 9

Les reproductions moyennes calculées pour chacune des trois durées et des deux tailles de l'ensemble mémoire dans les deux conditions sont présentées dans les Tableaux 11 et 12.

Tableaux 11, 12

Les analyses de variance à mesures répétées à deux facteurs (taille de l'ensemble mémoire et durée à reproduire) effectuées sur ces moyennes, et présentées dans les Tableaux 13 et 14, indiquent que les reproductions varient selon les trois durées des intervalles cibles, $F(2, 26) = 43.56, p < .0001$ et $F(2, 26) = 19.76, p < .0001$ pour les conditions RM / ET et RM / RT respectivement.

Malgré l'augmentation de la difficulté de la tâche en mémoire, aucun effet significatif de la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire n'est observé sur les reproductions temporelles dans la condition RM / ET. L'augmentation de la quantité de traitement en mémoire ne semble pas affecter significativement l'encodage temporel, $F(1, 13) = 3.42, p = .08$. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et les durées à reproduire n'est pas significative, $F < 1$. Par contre, un allongement significatif des reproductions moyennes en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire est observé dans la condition RM / RT, $F(1, 13) = 58.50, p < .0001$. L'interférence de la récupération d'information en mémoire avec la phase de reproduction est positivement reliée à la taille de l'ensemble mémoire. En effet, les pentes des fonctions de reproductions sont positives et sont de 143, 120 et 71 ms pour les durées de 1600, 2000 et 2400 ms respectivement. L'interaction entre les deux variables (taille de l'ensemble mémoire et durée) est

significative, $F(2, 26) = 6.06, p < .006$. Toutefois, la décomposition de cette interaction révèle que l'effet de taille est significatif aux trois durées cibles : 1600 ms, $F(1, 13) = 91.89, p < .0001$; 2000 ms, $F(1, 13) = 63.26, p < .0001$ et 2400 ms, $F(1, 13) = 22.68, p < .0001$.

Tableaux 13, 14

Comme dans l'Expérience 1, la récupération d'information en mémoire n'interfère pas dans la même mesure avec l'encodage et la reproduction temporels. Cette observation est d'autant plus confirmée par le résultat de l'analyse de variance effectuée sur les pentes des fonctions de reproductions calculées dans les conditions RM / ET et RM / RT qui montre que les pentes calculées sont significativement plus fortes dans la condition RM / RT (109 ms) que dans la condition RM / ET (14 ms), $F(1, 13) = 48.93, p < .0001$. Ce résultat confirme ainsi le fait que l'interférence de la récupération en mémoire avec la reproduction soit différente de son interférence avec l'encodage de durées.

Les reproductions temporelles des participants dans les essais d'entraînement à la reproduction sans rétroaction ont été comparées à leurs reproductions en double tâche (RM / ET ou RM / RT). L'introduction de la tâche en mémoire affecte les performances des participants à la tâche temporelle aussi bien pendant l'encodage que pendant la reproduction. Comme le montre la Figure 10, les reproductions sont généralement et significativement plus courtes lorsque la tâche en mémoire est effectuée pendant la phase d'encodage, $F(1, 13) = 5.30, p < .03$. Par contre, lorsque la tâche en mémoire est effectuée pendant la phase de reproduction, les intervalles reproduits sont généralement

plus longs, $F(1, 13) = 25.41, p < .0001$. Ce résultat est particulièrement important, car il suggère un effet d'interférence générale du traitement d'information d'ordre temporel en mémoire avec les deux phases de la tâche temporelle et montre que même si la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire n'affecte pas significativement les reproductions temporelles dans la condition RM / ET, l'introduction de la tâche en mémoire en soi perturbe les performances des participants. Ceci indique donc une interférence générale de la récupération en mémoire avec l'encodage temporel.

Figure 10

Les analyses effectuées sur les pourcentages d'erreurs enregistrées lorsque la tâche en mémoire est exécutée simultanément à la tâche temporelle révèlent que les participants commettent significativement plus d'erreurs dans la condition RM / RT (7.5 %) que dans la condition RM / ET (4.7 %), $F(1, 13) = 6.1, p < .02$. Ce résultat ne pourrait pas être dû au fait que les participants accordaient plus d'importance à la tâche en mémoire pendant l'encodage temporel puisque l'interférence du traitement en mémoire avec l'encodage est moindre qu'avec la reproduction temporelle. Ce résultat serait plutôt dû à une interférence de la reproduction temporelle avec la récupération d'information en mémoire, engendrée par la similarité des processus impliqués et des ressources requises dans les deux tâches concurrentes. En effet, la récupération en mémoire et la reproduction nécessitent toutes les deux un processus de comparaison et le partage de ressources spécifiques à ce processus pourrait être à l'origine de l'interférence du traitement en

mémoire avec la phase de reproduction, non seulement plus importante que son interférence avec l'encodage temporel, mais en plus bidirectionnelle.

L'analyse de variance à mesures répétées effectuée sur ces pourcentages révèle, par ailleurs, que la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire n'a aucun effet sur les erreurs enregistrées dans les conditions RM / ET et RM / RT, $F < 1$ et $F(1, 13) = 3.00$, $p = .10$ respectivement. Le même pourcentage d'erreurs est observé quel que soit le type d'essai, $F(1, 13) = 3.40$, $p = .09$ et $F < 1$, et quelle que soit la durée de l'intervalle, $F(1, 13) = 1.08$, $p = .35$ et $F < 1$. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et le type d'essai n'est pas significative, $F(1, 13) = 1.38$, $p = .26$ et $F(1, 13) = 5.49$, $p = .4$. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et les durées cibles n'est pas significative, $F < 1$.

Les résultats relatifs à l'effet de la tâche en mémoire sur la tâche de reproduction temporelle obtenus dans la présente expérience vont dans le même sens que ceux qui ont été observés aussi bien dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998) que dans l'Expérience 1 de la présente thèse. L'exécution de la même tâche en mémoire ne semble pas avoir le même effet selon qu'elle soit effectuée pendant la phase d'encodage ou pendant la phase de reproduction de durées. Son interférence avec les deux phases de la tâche de reproduction temporelle est différente. Ainsi, aussi bien dans l'étude de Fortin et Rousseau que dans les deux présentes expériences, la récupération d'information en mémoire affecte l'encodage temporel dans une moindre mesure que la reproduction temporelle.

L'interférence asymétrique des tâches en mémoire utilisées dans les deux expériences rapportées dans la présente thèse pourrait être due au fait que les processus et les

ressources impliqués dans les deux phases de la tâche de reproduction d'intervalles ne soient pas les mêmes. Plus précisément, nous proposons l'hypothèse selon laquelle la phase de reproduction n'implique pas les mêmes processus et ne sollicite pas les mêmes ressources que la phase d'encodage. La phase de reproduction nécessiterait, en effet, un processus de comparaison qui n'est pas requis pendant l'encodage. Ainsi, selon un modèle d'accumulation des indices temporels, pendant la phase d'encodage, les indices temporels sont accumulés jusqu'à la fin de la présentation de la durée cible à reproduire. La quantité d'information temporelle accumulée est mémorisée et constitue un nombre d'indices critère correspondant à l'intervalle à reproduire. Pendant la phase de reproduction, en plus du processus d'accumulation des indices temporels, un processus de comparaison en mémoire qui n'est pas requis lors de l'encodage, est mis en œuvre. En effet, une mise à jour de la durée en cours doit être effectuée de façon continue afin de déterminer avec précision le moment auquel la durée cible est atteinte. L'accumulation des indices temporels est ainsi accompagnée d'un processus de comparaison du nombre d'indices dans l'accumulateur au nombre d'indices critère en mémoire. La reproduction temporelle est terminée lorsque la quantité d'indices accumulés est suffisamment proche du nombre critère en mémoire.

La tâche en mémoire exécutée simultanément à l'encodage d'un intervalle temporel partagerait donc avec l'encodage uniquement des ressources nécessaires au processus d'accumulation des indices temporels. Par contre, l'exécution de cette même tâche pendant la phase de reproduction n'affecterait pas uniquement le processus d'accumulation, mais interférerait aussi avec le processus de comparaison. Cette double interférence pourrait expliquer la plus grande sensibilité de la phase de reproduction au

traitement en mémoire concurrent et se traduire, par conséquent, par l'interférence asymétrique observée aussi bien dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998) que dans les deux expériences rapportées ci-dessus.

L'asymétrie observée pourrait, aussi, être non seulement due à la nature des processus et des ressources impliqués dans les deux phases de la tâche temporelle, mais aussi à la nature des processus et des ressources requis par la tâche en mémoire elle-même. Par exemple, aussi bien dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998) que dans les Expériences 1 et 2 rapportées précédemment, la tâche en mémoire utilisée est une tâche de *récupération* d'information en mémoire. Cette tâche sollicite un processus de comparaison puisque le participant a besoin de comparer la cible aux items de l'ensemble mémoire avant d'émettre sa réponse. Certains auteurs avancent l'hypothèse selon laquelle l'interférence en mémoire peut se produire sur la base de la similarité des processus impliqués dans les deux tâches concurrentes. Ainsi, des processus identiques interfèreraient davantage que des processus différents (e.g., Jones & Tremblay, 2000; Macken, Tremblay, Alford, & Jones, 1999). Par ailleurs, selon Wickens (1984) et Brown (1997), l'exécution d'une tâche interfèrera avec une autre si ces deux tâches sollicitent les mêmes ressources cognitives. En revanche, deux tâches qui utilisent des ressources distinctes interfèreront peu entre elles. Par conséquent, l'interférence de la tâche de récupération avec la phase de reproduction temporelle pourrait être accentuée par le fait que ces deux tâches concurrentes requièrent un processus commun et partagent des ressources communes à ce processus, alors que l'encodage temporel partage peu de ressources avec la récupération en mémoire.

3.3. *Expérience 3*

La similarité des processus et ressources impliqués dans la tâche de récupération d'information en mémoire ainsi que dans la phase de reproduction de durées pourrait contribuer de façon significative au fait que le traitement en mémoire interfère différemment avec les deux phases de la tâche temporelle. Ainsi, l'exécution d'une tâche en mémoire qui ne sollicite pas de comparaison pourrait abolir l'asymétrie de l'interférence observée dans les Expériences 1 et 2. L'encodage d'information en mémoire constitue une tâche mnémonique qui ne nécessite pas de comparaison. Elle ne partagerait donc pas de ressources nécessaires au processus de comparaison requis lors de la phase de reproduction.

L'objectif de la présente expérience est de tester ainsi que de comparer l'effet de l'Encodage d'information en Mémoire sur l'Encodage Temporel (condition EM / ET), à son effet sur la Reproduction Temporelle (condition EM / RT), et de vérifier si son interférence avec les deux phases de la tâche de reproduction temporelle diffère ou non. À cet effet, l'encodage d'information d'ordre spatial en mémoire est combiné à la reproduction temporelle. La modification de la tâche en mémoire a été nécessaire, car la tâche de traitement d'ordre temporel dans l'Expérience 2 nécessite une présentation séquentielle des items qui, pendant l'encodage et la reproduction de durées, pourrait servir aux participants d'indices pour estimer les durées.

3.3.1. *Participants*

L'échantillon de l'étude est constitué de 15 participants, 10 femmes et 5 hommes âgés entre 19 et 30 ans ($M = 22$, $ET = 3.12$). La compensation monétaire est similaire à celle des Expériences 1 et 2.

3.3.2. *Stimuli*

Les stimuli sont similaires à ceux utilisés dans la deuxième expérience, à l'exception que les durées des intervalles cibles ont été modifiées en raison des exigences de la tâche en mémoire qui s'est avérée plus longue à compléter lors d'essais pilotes dans une condition de TR. Les intervalles à reproduire (2400, 2800 et 3200 ms), la taille et les lettres dans l'ensemble mémoire ainsi que la cible (lettre) sont sélectionnés aléatoirement et varient d'un essai à l'autre.

3.3.3. *Procédure*

Comme dans l'Expérience 2, les participants prennent part à deux sessions expérimentales comportant chacune sept blocs de 24 essais. Les sept blocs sont des blocs de traitement d'information d'ordre spatial en mémoire et / ou de reproduction d'intervalles temporels. Tel que l'illustrent les Figures 11a et 11b, les participants commencent l'expérience avec un bloc d'entraînement à la tâche en mémoire dans un paradigme de TR, suivi par deux blocs d'entraînement à la reproduction d'intervalles temporels. Les quatre derniers blocs consistent en une combinaison des deux tâches dans un paradigme de double tâche (EM / ET et EM / RT). Comme dans les deux expériences précédentes, l'ordre de présentation des sessions est contrebalancé.

Figures 11a, 11b

Un essai expérimental du bloc Traitement d'information d'ordre spatial en mémoire commence par la présentation des lettres de l'ensemble mémoire. Les lettres apparaissent simultanément au centre de l'écran dans une matrice qui peut être constituée de deux ou

quatre lettres. Les durées de présentation sont de 1000 ms pour la matrice de deux lettres et de 2000 ms pour la matrice de quatre lettres (à raison de 500 ms par item). Le participant reçoit la consigne de retenir la position spatiale de chaque lettre dans la matrice. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible (lettre). La position spatiale de la lettre dans la matrice-test peut correspondre (essai positif) ou non (essai négatif) à sa position dans la matrice initiale. Le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou « NON » pour donner sa réponse. Une rétroaction visuelle lui est fournie à la fin de chaque essai.

Un essai expérimental du bloc Reproduction d'intervalles temporels est décrit dans la section Procédure de la méthode générale utilisée dans les expériences rapportées et se déroule de manière identique aux essais d'entraînement à la reproduction dans les deux premières expériences.

Un essai expérimental des blocs EM / ET commence par la présentation de l'intervalle temporel. Un son marque le début et la fin de cet intervalle. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, les stimuli de l'ensemble mémoire sont présentés simultanément au centre de l'écran (matrice de deux ou quatre lettres) et restent présents jusqu'à la fin de la présentation de l'intervalle. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt à effectuer la tâche en mémoire, le participant appuie sur la touche « 2 » du clavier numérique. Une matrice-test apparaît et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou « NON » pour donner sa réponse par rapport à la position de la lettre. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et le participant doit commencer et finir sa reproduction de l'intervalle en

appuyant sur la touche « 2 ». Une rétroaction par rapport à sa réponse à la tâche en mémoire lui est fournie à la fin de chaque essai.

Dans les blocs EM / RT, l'essai commence par la présentation de l'intervalle temporel. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, l'ensemble mémoire est présenté. Les lettres restent présentes jusqu'à ce que le participant finisse sa reproduction. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt à effectuer la tâche en mémoire, le participant appuie sur la touche « 2 ». Une lettre apparaît et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou « NON » pour donner sa réponse à la tâche en mémoire. Une rétroaction lui est fournie à la fin de l'essai.

3.3.4. Résultats et discussion

L'ensemble des analyses statistiques a porté sur les données des 15 participants, ce qui représente un total de 5040 données collectées.

3.3.4.1. Traitement d'information d'ordre spatial en mémoire dans un paradigme de TR.

Les essais qui comportent des erreurs à la tâche en mémoire et qui comportent des moyennes de TR extrêmes ont été éliminés, ce qui représente 2.7 % et 1.1 % des données dans les conditions EM / ET et EM / RT respectivement. Les moyennes et écart-types des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire sont présentés dans le Tableau 15.

Tableau 15

L'analyse de variance à mesures répétées à deux facteurs (tailles de l'ensemble mémoire et type d'essai - positif, négatif -) effectuée sur les moyennes des TR enregistrés indique un allongement significatif des TR en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire, $F(1, 14) = 206.98, p < .0001$ et du type d'essai, $F(1, 14) = 6.70, p < .02$. L'interaction entre ces deux variables n'est pas significative, $F < 1$. Par ailleurs, ni la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire ni la manipulation du type d'essai n'a d'effet sur les pourcentages d'erreurs, $F(1,14) = 1.75, p = .20$ et $F < 1$ respectivement.

3.3.4.2. Reproduction d'intervalles temporels. Les reproductions extrêmes ont été éliminées, ce qui représente 0.6 % des données finales utilisées. Les reproductions temporelles varient significativement selon les trois durées des intervalles cibles, $F(2, 28) = 234.07, p < .0001$. Les moyennes et écart-types de ces reproductions pour chacune des durées sont présentés dans le Tableau 16.

Tableau 16

3.3.4.3. Encodage en Mémoire pendant Encodage et Reproduction temporels :
EM/ET ; EM/RT. Les reproductions extrêmes ont été éliminées, ce qui représente 0.8 % et 1.1 % des données finales utilisées dans les conditions EM / ET et EM / RT respectivement. La Figure 12 illustre les moyennes des reproductions en fonction de la taille de l'ensemble mémoire.

Figure 12

Les moyennes et écart-types des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les conditions EM / ET et EM / RT sont présentées dans les Tableaux 17 et 18.

Tableaux 17, 18

Tel que le montrent les Tableaux 19 et 20, les reproductions varient selon les trois durées des intervalles cibles ce qui montre que les participants reproduisaient trois intervalles temporels différents, $F(2, 28) = 154.20, p < .0001$ et $F(2, 28) = 112.84, p < .0001$ pour les conditions EM / ET et EM / RT.

L'encodage d'information d'ordre spatial en mémoire n'a pas d'effet sur l'encodage temporel. En effet, les reproductions des participants ne sont pas significativement affectées par l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire et par conséquent de la quantité de traitement en mémoire, $F(1, 14) = 1.57, p = .23$. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et les durées cibles est significative, $F(2, 28) = 4.84, p < .01$. La décomposition de cette interaction révèle un allongement significatif des reproductions en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire pour les durées cibles de 2400 et 2800 ms, $F(1, 14) = 8.15, p < .008$ et $F(1, 14) = 10.81, p < .002$. Aucun effet significatif n'a été observé pour la durée de 3200 ms, $F < 1$.

Lorsque l'encodage en mémoire se fait pendant la phase de reproduction, l'augmentation de la quantité d'information à traiter en mémoire affecte significativement les reproductions temporelles, $F(1, 14) = 4.89, p < .04$. Cette interférence est positivement reliée à la taille de l'ensemble mémoire puisque les pentes des fonctions de reproduction sont positives et sont de respectivement 84, 47 et 25 ms pour les durées de 2400, 2800 et 3200 ms. L'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et les durées cibles n'est pas significative, $F(2, 28) = 2.70, p = .08$.

Tableaux 19, 20

Ces résultats suggèrent que même si la tâche en mémoire utilisée ne nécessite pas un processus de comparaison, son interférence avec les deux phases de la tâche temporelle est différente. En effet, l'encodage en mémoire interfère avec la phase de reproduction alors qu'il n'a aucun effet sur la phase d'encodage temporel.

Par ailleurs, tel que l'illustre la Figure 13, l'introduction de la tâche en mémoire n'a aucun effet sur les performances générales des participants, dont les moyennes des reproductions en double tâche sont similaires aux moyennes des reproductions enregistrées lors du dernier bloc d'entraînement sans rétroaction, $F(1, 14) = 1.23, p = .28$ et $F(1, 14) = 2.72, p = .12$ pour EM / ET et EM / RT respectivement.

Figure 13

L'interférence du traitement en mémoire avec les deux phases de la tâche de reproduction ne semble pas être reliée au niveau d'importance accordé à la tâche en mémoire pendant une phase de la tâche temporelle par rapport à une autre. En effet, les pourcentages d'erreurs enregistrées dans la tâche de traitement d'information d'ordre spatial sont minimales aussi bien dans la condition EM / ET (4.7 %) que dans la condition EM / RT (3.5 %) et sont semblables dans les deux conditions, $F(1, 14) = 3.54, p = .08$.

L'analyse de variance à mesures répétées effectuée sur ces pourcentages révèle que la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire affecte les pourcentages d'erreurs enregistrées, $F(1, 14) = 11.75, p < .004$ dans la condition EM / ET et $F(1, 14) = 5.15, p < .04$ dans la condition EM / RT. Les participants commettent donc plus d'erreurs lorsque le nombre d'items à traiter dans la matrice augmente. Par ailleurs, le même pourcentage d'erreurs est observé quel que soit le type d'essai, $F < 1$ et $F(1, 14) = 2.08, p = .2$, et quelle que soit la durée de l'intervalle, $F(2, 28) = 2.87, p = .07$ et $F < 1$. Ni l'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et le type d'essai ni l'interaction entre la taille de l'ensemble mémoire et les durées cibles ne sont significatives, $F < 1$ et $F(2, 28) = 2.46, p = .1$ dans la condition EM / ET et $F(1, 14) = 1.75, p = .2$ et $F < 1$, dans la condition EM / RT.

L'interférence de l'encodage d'information d'ordre spatial avec la phase de reproduction d'intervalles renforce l'hypothèse selon laquelle la reproduction soit plus sensible que l'encodage à l'exécution concurrente d'autres processus et au partage de ressources avec une tâche non temporelle traitée simultanément. Cependant, la similarité des processus impliqués dans les deux tâches concurrentes ainsi que le partage de ressources entre les deux processus de comparaison nécessaires à la tâche en mémoire et

à la reproduction temporelle ne seraient pas à l'origine de l'asymétrie observée. En effet, même si la tâche non temporelle concurrente ne fait pas appel au processus de comparaison, son interférence avec la phase de reproduction semble être plus importante qu'avec la phase d'encodage. Il semblerait donc que l'interférence asymétrique du traitement non temporel avec l'encodage et la reproduction temporelle soit indépendante du processus de comparaison nécessaire à la tâche en mémoire. Elle serait plutôt due à la sensibilité du processus de comparaison, nécessaire à la phase de reproduction temporelle, au partage général de ressources avec le traitement non temporel concurrent.

3.4. Expérience 4

Les résultats obtenus dans les trois expériences précédentes montrent que le partage des ressources attentionnelles, mnémoniques et des ressources nécessaires au processus de comparaison (Expériences 1 et 2) ainsi que le partage des ressources attentionnelles et mnémoniques (Expérience 3) entre une tâche en mémoire et la tâche de reproduction temporelle produit une interférence asymétrique du traitement en mémoire concurrent avec les deux phases de la tâche de reproduction temporelle. L'objectif de la présente expérience consiste à tester l'effet du partage des ressources attentionnelles sur la reproduction temporelle. La particularité de cette expérience réside donc dans le fait que le traitement non temporel utilisé ne nécessite pas de ressources en mémoire et ne requiert pas un processus de comparaison. Il ne partagerait donc avec la tâche temporelle que des ressources attentionnelles.

La tâche d'interruption de l'estimation temporelle sans traitement non temporel simultané est combinée à la reproduction d'intervalles temporels dans la présente expérience. Selon Fortin et Massé (2000), l'interruption de l'estimation du temps affecte,

de la même façon que le traitement d'information en mémoire, les performances à la tâche temporelle. En effet, ces auteurs ont montré que plus l'interruption arrive tardivement dans la *production* de durées, plus les intervalles produits sont longs. L'attente de l'interruption pendant la production produit un partage attentionnel et une perturbation du processus d'accumulation des indices temporels. Moins d'indices sont accumulés pendant la période de l'attente et une plus longue durée est nécessaire à l'atteinte du nombre d'indices critères en mémoire. L'effet du partage attentionnel dû à l'attente de l'interruption sur l'*encodage* et la *reproduction* d'intervalles temporels n'a cependant jamais été testé. La méthode d'interruption de l'estimation du temps sera combinée avec une méthode de *reproduction* d'intervalles temporels dans la présente expérience. L'effet de l'interruption de l'estimation temporelle sur l'encodage (condition I / ET) sera donc comparé à son effet sur la reproduction (condition I / RT). L'analyse effectuée sur les pentes des fonctions des reproductions temporelles en fonction de la localisation de l'interruption permettra de conclure si l'interruption affecte différemment les deux phases de la tâche temporelle.

3.4.1. Participants

L'échantillon de l'étude est constitué de 15 participants, 10 femmes et 5 hommes âgés entre 19 et 34 ans ($M = 24$, $ET = 4.98$). Ils reçoivent une compensation monétaire de 15 \$ pour leur participation à trois sessions expérimentales.

3.4.2. Stimuli

Les intervalles à reproduire (2000, 2400 et 2800 ms), les durées des interruptions (1000 et 2000 ms) ainsi que les localisations des interruptions (40 et 60 % de la durée à reproduire) sont sélectionnés aléatoirement et varient d'un essai à l'autre.

3.4.3. Procédure

Les participants prennent part à une session d'entraînement à la reproduction d'intervalles temporels qui comporte deux blocs de 36 essais, et deux sessions expérimentales de reproductions d'intervalles interrompus qui comportent chacune quatre blocs de 36 essais. Tel que l'illustre la Figure 14, les participants commencent l'expérience avec une session d'entraînement à la reproduction d'intervalles temporels qui est suivie par une session de la condition I / ET et une session de la condition I / RT. L'ordre de présentation des deux dernières sessions est contrebalancé.

Figure 14

Un essai expérimental des blocs Reproduction d'intervalles temporels se déroule de manière identique aux sessions d'entraînement à la reproduction temporelle des Expériences 1, 2 et 3. La seule différence est que l'intervalle temporel est présenté sous forme d'un son continu dont la durée représente l'intervalle. Une rétroaction visuelle est fournie au participant à la fin de chaque essai dans le premier bloc par rapport à ses reproductions temporelles alors qu'aucune rétroaction ne lui est fournie dans le deuxième bloc.

Un essai expérimental des blocs I / ET commence par la présentation d'un son qui représente l'intervalle temporel cible à encoder. À 40 % ou à 60 % de la durée totale de l'intervalle, le son est interrompu pour une durée de 1000 ou 2000 ms. Les localisations et les durées des interruptions varient d'un essai à l'autre. Le participant reçoit la consigne de suspendre son estimation temporelle lorsque le son est interrompu et de la reprendre lorsque le son est repris. À la suite de l'encodage de l'intervalle, le participant doit le reproduire en ne considérant pas la durée de l'interruption.

Un essai des blocs I / RT se déroule de manière identique aux essais I / ET, sauf que l'interruption a lieu pendant la phase de reproduction. Le participant reçoit la consigne de suspendre son estimation et par conséquent sa reproduction pendant la durée de l'interruption. Il doit la reprendre dès que le son est repris en prenant en considération la durée de temps écoulée avant l'interruption. Il reçoit la consigne de mettre fin à sa reproduction lorsqu'il aura estimé que la somme du temps écoulé avant et après l'interruption est égale à la durée de l'intervalle cible.

3.4.4. Résultats et discussion

L'ensemble des analyses a été effectué sur les données des 15 participants ayant pris part à l'expérience qui représentent 4428 données.

3.4.4.1. Reproduction d'intervalles temporels. Les reproductions extrêmes ont été éliminées ce qui représente 0.2 % des données finales utilisées. Les moyennes et écart-types des reproductions temporelles pour chacune des trois durées sont présentés dans le Tableau 20.

Tableau 20

Une analyse de variance à mesures répétées effectuée sur les moyennes des reproductions indique que les reproductions temporelles varient significativement selon les trois durées des intervalles cibles, ce qui montre que les participants reproduisaient trois intervalles temporels différents, $F(2, 28) = 97.08, p < .0001$.

3.4.4.2. Interruptions pendant Encodage et Reproduction Temporels : I / ET ; I / RT. Les reproductions temporelles extrêmes ont été éliminées ce qui représente 0.1 % et 0.6 % des données utilisées dans les conditions I / ET et I / RT respectivement. Les Figures 15, 16 et 17 illustrent les moyennes des reproductions temporelles en fonction des durées reproduites et des localisations des interruptions.

Figures 15, 16, 17

Les reproductions temporelles moyennes calculées pour chacune des trois durées et des deux localisations de l'interruption dans les deux conditions sont présentées dans les Tableaux 22 et 23.

Tableaux 22, 23

Des analyses de variance à mesures répétées à trois facteurs (localisation des interruptions, durée de l'interruption et durée à reproduire) ont été effectuées sur les

reproductions temporelles moyennes calculées pour chacune des trois durées et des deux localisations de l'interruption dans les deux conditions. Tel que le montrent les Tableaux 24 et 25, les reproductions varient selon les trois durées des intervalles cibles ce qui confirme la reproduction de trois intervalles temporels différents, $F(2, 28) = 70.07$, $p < .0001$ dans la condition I / ET et $F(2, 28) = 272.57$, $p < .0001$ dans la condition I / RT. Un raccourcissement significatif des reproductions en fonction de la localisation de l'interruption est observé lorsque l'interruption a lieu pendant l'encodage de l'intervalle, $F(1, 14) = 6.79$, $p < .02$. L'effet de la durée de l'interruption n'est pas significatif, $F(1, 14) = 4.21$, $p = .06$. Ni l'interaction entre la localisation de l'interruption et les durées à reproduire ni l'interaction entre la localisation et les durées de l'interruption ne sont significatives, $F < 1$. Lorsque l'interruption a lieu pendant la phase de reproduction, un allongement significatif des reproductions temporelles moyennes en fonction de la localisation de l'interruption est observé, $F(1, 14) = 11.34$, $p < .005$. L'effet de la durée de l'interruption n'est pas significatif, $F < 1$. Les interactions entre la localisation de l'interruption et les durées à reproduire, ainsi qu'entre la localisation et les durées de l'interruption ne sont pas significatives, $F(2, 28) = 3.05$, $p = .06$ et $F < 1$ respectivement.

Tableaux 24, 25

L'interruption de l'estimation temporelle pendant l'encodage et la reproduction d'intervalles semble donc affecter l'estimation temporelle. Ce résultat est similaire à celui qui a été observée par Fortin et Massé (2000) avec une méthode de production

temporelle. Fortin et Massé ont utilisé le principe d'accumulation d'information temporelle tel qu'énoncé dans le modèle de TIT de Church (1984) ainsi que Gibbon et al. (1984) pour expliquer l'effet de l'interruption sur les intervalles produits. Selon Fortin et Massé, l'attente de l'interruption pendant la production produit un partage attentionnel et une perturbation du processus d'accumulation des indices temporels. Plus l'interruption arrive tardivement dans la production, plus l'accumulation des indices est perturbée et moins d'indices temporels sont accumulés. L'atteinte du nombre critère en mémoire est retardée et les intervalles produits sont plus longs.

Les résultats obtenus dans la présente expérience peuvent, eux aussi, être interprétés selon ce principe d'accumulation. Pendant la phase d'encodage, l'accumulation des indices temporels se déclenche. L'attente de l'interruption produit un partage attentionnel qui perturbe cette accumulation, et la durée de la perturbation dépend de la durée de l'attente de l'interruption. Moins d'indices sont accumulés et la durée est perçue et reproduite plus courte qu'elle ne l'est réellement. Lorsque l'interruption a lieu pendant la phase de reproduction, l'attente de l'interruption perturbe le processus d'accumulation des indices et une plus longue durée est nécessaire à l'atteinte du nombre critère d'indices accumulés pendant la phase d'encodage et transférés en mémoire de référence pour une comparaison ultérieure.

Des analyses de variances à mesures répétées ont été effectuées sur les reproductions temporelles en fonction des durées à reproduire dans les trois conditions de l'expérience (reproductions seules, reproductions dans la condition I / ET et dans la condition I / RT), afin d'analyser l'effet général de l'introduction de l'interruption sur les reproductions temporelles dans les deux conditions (Figure 18). Ces analyses révèlent une différence

significative entre les trois conditions, $F(2, 28) = 17.20, p < .0001$. L'effet de la durée est significatif, $F(2, 28) = 161.31, p < .0001$ et l'interaction entre les conditions de l'expérience et les durées l'est aussi, $F(4, 56) = 5.70, p < .001$. La décomposition de cette interaction révèle que les participants reproduisent significativement plus long dans la condition I / RT que lorsqu'ils font la tâche de reproduction seule, $F(1, 14) = 26.06, p < .0001$ ou lorsque l'interruption a lieu pendant la phase d'encodage, $F(1, 14) = 17.29, p < .001$. L'introduction de l'interruption pendant l'encodage de l'intervalle temporel n'affecte pas les reproductions générales puisqu'aucune différence n'a été relevée entre les reproductions dans la condition I / ET et dans la condition Reproductions seules, $F(1, 14) = 1.26, p = .28$.

Figure 18

Les résultats les plus importants qui découlent de cette expérience sont relatifs à la problématique de l'interférence asymétrique du traitement non temporel avec l'encodage et la reproduction d'intervalles. L'analyse de variance à mesures répétées effectuée sur les pentes des fonctions des reproductions temporelles moyennes en fonction de la localisation de l'interruption dans les deux conditions révèle que les pentes sont plus faibles lorsque l'interruption a lieu pendant la phase d'encodage (-15, -12 et -13 ms) que pendant la phase de reproduction (24, 25 et 37 ms) pour les trois durées des intervalles présentées (2000, 2400 et 2800 ms respectivement), $F(1, 14) = 18.49, p < .001$.

L'interruption temporelle affecte donc différemment l'encodage et la reproduction d'intervalles et le partage de ressources attentionnelles semble perturber davantage la

phase de reproduction. Le processus de comparaison nécessaire à la reproduction temporelle semble ainsi être sensible au partage attentionnel engendré par l'attente de l'interruption. Ces résultats confirment non seulement que l'effet de traitement non temporel sur la tâche de reproduction diffère selon que ce traitement soit effectué pendant l'encodage ou la reproduction de durées, mais renforcent aussi l'hypothèse de l'interférence due non seulement à l'interruption du processus d'accumulation des indices temporels, mais aussi à la perturbation du processus de comparaison nécessaire à la reproduction temporelle. Ce dernier semble être sensible au partage des ressources attentionnelles ou mnémoniques ou des ressources nécessaires au processus de comparaison entre les tâches temporelle et non temporelle.

4. Discussion générale, conclusions et propositions de recherche

L'objectif principal de la présente thèse était de vérifier si l'interférence de traitement non temporel avec l'estimation temporelle diffère selon que le traitement non temporel prenne place pendant l'encodage ou la reproduction d'intervalles de temps. De façon plus particulière, notre objectif était d'analyser les processus spécifiques à l'origine de l'interférence asymétrique observée et de vérifier si cette asymétrie pouvait être due au fait que la phase de reproduction nécessite un processus de comparaison qui n'est pas requis pendant la phase d'encodage.

Différentes tâches en mémoire ainsi qu'une tâche d'interruption d'estimation temporelle ont été combinées aux deux phases de la tâche de reproduction temporelle pour répondre à cet objectif. Les processus impliqués et les ressources requises par ces différentes tâches variaient d'une expérience à l'autre. À notre connaissance, il s'agit ici du premier examen systématique de l'interférence de traitement non temporel avec

l'estimation temporelle concurrente en fonction des processus et des ressources impliqués non seulement dans le traitement non temporel concurrent, mais aussi dans les deux phases d'une même tâche temporelle.

Un tel examen a permis de confirmer l'interférence asymétrique de traitement non temporel avec les deux phases de la tâche temporelle. Le traitement non temporel affecte davantage la phase de reproduction que la phase d'encodage et ce résultat suggère que les processus impliqués et les ressources requises pendant ces deux phases ne soient pas les mêmes.

Dans les deux premières expériences, nous avons examiné l'effet de la récupération d'information en mémoire sur les deux phases (encodage et reproduction) de la tâche de reproduction temporelle avec deux tâches différentes en mémoire, une tâche de traitement d'information d'item et une tâche de traitement d'information d'ordre temporel. Les résultats obtenus montrent que l'exécution de la tâche en mémoire pendant la phase de reproduction interfère avec l'estimation temporelle concurrente. Les durées reproduites sont positivement reliées à la durée de traitement en mémoire et un allongement des reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire est observé. Par contre, lorsque la tâche en mémoire est exécutée pendant la phase d'encodage, la manipulation de la taille de l'ensemble mémoire ne semble pas affecter significativement l'estimation temporelle concurrente. Cette absence d'interférence statiquement significative pourrait être attribuée au niveau de facilité des deux tâches utilisées puisqu'en ayant une tâche de récupération d'information d'item plus complexe, un raccourcissement significatif des intervalles reproduits en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire a déjà été observé lorsque la tâche en

mémoire était effectuée pendant la phase d'encodage de durées (Fortin & Rousseau, 1998; Neath & Fortin, sous presse).

Par ailleurs, les analyses effectuées sur les pentes des fonctions des reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire montrent que celles-ci, en valeurs absolues, sont significativement plus faibles lorsque la récupération en mémoire se fait pendant la phase d'encodage que lorsqu'elle se fait pendant la phase de reproduction. Ainsi, bien que les conditions expérimentales soient exactement similaires, la récupération d'information d'item et d'ordre temporel affecte différemment l'encodage et la reproduction temporels concurrents.

Dans la troisième expérience, l'effet de l'encodage d'information d'ordre spatial sur la tâche de reproduction temporelle est examiné. Il s'agit, à notre connaissance, de la première étude qui tente de tester l'effet de l'encodage d'information en mémoire sur l'estimation temporelle et d'analyser l'interférence observée. De façon similaire aux deux premières expériences, les résultats obtenus montrent que l'encodage en mémoire affecte davantage la phase de reproduction temporelle. Alors qu'un allongement des reproductions temporelles en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire est observé lorsque l'encodage en mémoire est effectué pendant la phase de reproduction, celui-ci ne semble pas affecter l'estimation temporelle concurrente lorsque les participants doivent encoder la position spatiale de lettres pendant la phase d'encodage de la durée cible. Ainsi, de façon comparable aux résultats observés dans les deux premières expériences, bien que le traitement en mémoire effectué pendant l'encodage et la reproduction de durées soit identique, son interférence avec l'estimation

temporelle est asymétrique et va dans le même sens que celle qui est observée dans les deux premières expériences.

Dans la quatrième expérience, l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle sur la phase d'encodage est comparé à son effet sur la phase de reproduction. De la même manière que pour les trois premières expériences, les résultats obtenus confirment que l'effet de l'interruption de l'estimation temporelle sur les deux phases de la tâche de reproduction diffère puisque cette interruption affecte davantage la phase de reproduction d'intervalles temporels.

L'ensemble des résultats obtenus dans ces quatre expériences confirme l'interférence asymétrique observée a posteriori dans l'étude de Fortin et Rousseau (1998), étude où l'effet d'un traitement non temporel était testé sur les deux phases d'une tâche de reproduction d'intervalles. En effet, dans les quatre expériences rapportées ci-dessus, les analyses effectuées montrent que l'effet du traitement non temporel n'est pas le même selon que ce dernier soit effectué pendant l'encodage ou pendant la reproduction des intervalles cibles. Les pentes des fonctions de reproduction temporelle en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire (Expériences 1, 2 et 3) et en fonction de la localisation de l'interruption (Expérience 4) sont plus fortes lorsque le traitement non temporel est exécuté pendant la phase de reproduction que lorsqu'il est effectué pendant la phase d'encodage.

Les résultats de la présente étude sont interprétés dans le cadre du modèle de TIT (Church, 1984; Gibbon et al., 1984). Il s'agit d'un modèle d'accumulation d'information temporelle selon lequel le temps est estimé à travers une accumulation d'indices temporels émis par une source interne d'information temporelle. Lorsque la durée cible

est encodée dans la tâche de reproduction, le nombre d'indices accumulés à la fin de l'intervalle est utilisé comme critère pour sa reproduction (les notions d'indices et de critère sont expliquées dans la section Estimation temporelle et mémoire de la présente thèse). Dans des études antérieures, l'effet de l'exécution de tâche en mémoire sur l'estimation temporelle simultanée suggère que l'exécution d'un traitement non temporel concurrent interrompt le processus d'accumulation des indices temporels (e.g., Fortin et al., 1993; Fortin & Rousseau, 1998). La durée de l'interruption correspondrait à la durée du traitement en mémoire. L'interruption du processus d'accumulation provoquerait un raccourcissement de la durée perçue, raccourcissement qui se traduit par un allongement des intervalles reproduits lorsque le traitement non temporel est effectué pendant la phase de reproduction, puisqu'un plus long délai est nécessaire à l'atteinte du nombre d'indices critère en mémoire. Par contre, lorsque le traitement non temporel est effectué pendant la phase d'encodage de l'intervalle cible, l'interruption de l'accumulation se traduit par un raccourcissement des intervalles reproduits, car moins d'indices sont accumulés et le nombre d'indices critère est atteint plus tôt (Figures 3a, 3b et 3c).

Bien que le traitement de l'information non temporelle ne semble pas affecter significativement l'accumulation des indices temporels lorsque la tâche en mémoire est exécutée pendant la phase d'encodage de durées dans les trois premières expériences, l'ensemble des résultats obtenus dans les quatre expériences rapportées dans le cadre de cette étude concorde avec le principe d'accumulation des indices temporels affecté par le traitement non temporel concurrent et proposé par le modèle de TIT. Nous émettons l'hypothèse selon laquelle la manipulation du nombre d'item dans l'ensemble mémoire (deux ou quatre lettres) n'était pas suffisamment importante pour affecter

significativement l'accumulation des indices temporels pendant l'encodage, ce qui expliquerait pourquoi un raccourcissement statistiquement significatif des durées reproduites n'ait pas été observé.

Le résultat le plus important issu de ces données est relatif à l'asymétrie de l'interférence de traitement non temporel avec les deux phases de la tâche de reproduction de durée. En effet, bien que la manipulation de la complexité de la tâche non temporelle n'ait pas été suffisante pour affecter significativement l'encodage de durées, un allongement significatif des intervalles reproduits en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire est observé lorsque cette même tâche est exécutée pendant la phase de reproduction, et ce pour les trois tâches en mémoire utilisées.

Nous proposons l'interprétation selon laquelle la nature des processus ainsi que la quantité des ressources spécifiques impliqués dans l'encodage et dans la reproduction d'intervalles soit à l'origine de cette asymétrie. Les processus impliqués pendant ces deux phases ne seraient pas les mêmes et les demandes en termes de quantité de ressources posées par ces phases seraient différentes. La phase de reproduction nécessiterait une plus grande quantité de ressources que la phase d'encodage, car elle implique un processus supplémentaire, à savoir celui de la comparaison. Cette interprétation concorde avec la notion du temps estimé à travers une accumulation d'indices temporels telle que postulée par les modèles d'accumulation en général et le modèle de TIT en particulier. En effet, tel que l'illustre la Figure 19, pendant la phase d'encodage, les indices temporels sont accumulés jusqu'à la fin de la présentation de la durée cible à reproduire. La quantité d'information temporelle accumulée est mémorisée et constitue un nombre d'indices

critère correspondant à l'intervalle cible qui doit être reproduit. Pendant la phase de reproduction, le processus d'accumulation est déclenché. Cette accumulation est accompagnée par une comparaison entre le nombre d'indices actuellement accumulés et le nombre d'indices critère en mémoire. La reproduction temporelle est terminée lorsque la quantité d'indices accumulés est suffisamment proche du nombre critère en mémoire (Fortin & Rousseau, 1998).

Nous proposons l'hypothèse selon laquelle l'exécution d'un traitement non temporel pendant la phase de reproduction n'affecterait pas uniquement le processus d'accumulation des indices temporels, mais interférerait aussi avec le processus de comparaison nécessaire à la reproduction d'un intervalle encodé.

Figure 19

Par ailleurs, il est maintenant largement reconnu que lorsque l'exécution d'une tâche nécessite différentes opérations, la complexité de cette tâche est plus grande et plus de ressources sont nécessaires à sa réalisation (e.g., Navon, 1984). Comme la phase de reproduction implique des opérations associées au processus de comparaison qui ne sont pas requises lors de la phase d'encodage, elle solliciterait davantage de ressources. Le partage de ces ressources additionnelles avec un traitement non temporel concurrent pourrait expliquer pourquoi l'interférence de traitement non temporel diffère selon que ce traitement prenne place pendant l'encodage ou la reproduction d'intervalles.

Les résultats obtenus dans la présente thèse sont particulièrement intéressants, car ils appuient fortement l'hypothèse selon laquelle les processus et les ressources impliqués

dans les deux phases d'une même tâche temporelle ne sont pas les mêmes. Plusieurs auteurs ont suggéré que les processus et ressources impliqués dans les différentes tâches d'estimation temporelle et dans les différents paradigmes de jugements temporels diffèrent (e.g., Block, 1990; Zakay, 1990). Ainsi, alors que certaines tâches nécessitent davantage de ressources en MLT, d'autres font davantage appel à des ressources en MCT. Par ailleurs, alors que dans une situation de jugement prospectif les processus attentionnels sont activés, dans la situation de jugement rétrospectif, les processus mnémoniques sont davantage sollicités. L'interférence asymétrique de traitement non temporel avec l'encodage et la reproduction d'intervalles observée dans la présente étude permet d'avancer que les processus et les ressources impliqués dans les deux phases d'une même tâche temporelle diffèrent également. Ainsi, alors que l'encodage d'un intervalle temporel implique uniquement un processus d'accumulation des indices temporels et requiert par conséquent des ressources attentionnelles et mnémoniques, la reproduction de cet intervalle nécessite non seulement un processus d'accumulation des indices temporels, mais aussi un processus de comparaison de ces indices au nombre d'indices critère en mémoire. La reproduction nécessite pour ce fait des ressources attentionnelles, mnémoniques et des ressources nécessaires au processus de comparaison.

Ces résultats peuvent ainsi servir à améliorer la compréhension du rôle de la comparaison dans l'estimation temporelle en général, et dans les modèles théoriques tel que le modèle de TIT de Church (1984) ainsi que Gibbon et al. (1984) en particulier. Dans ce modèle, le comportement temporel est décrit comme le produit d'une interaction entre les processus d'horloge, de mémoire, de comparaison et de décision. Cependant, bien qu'il ait été reconnu que les processus de comparaison et de décision forment une

partie centrale dans le modèle de TIT, peu d'études se sont intéressées directement à ces processus. Ainsi, selon Wearden (1993) : « *Traditional internal clock theories may have treated clock properties in a sophisticated way, but they tended to regard the decision and memory mechanisms as completely transparent (i.e., assuming that observed behaviour directly reflects underlying clock properties), or simple transforms (e.g., linear ones) of underlying subjective time* ». Par ailleurs, bien que des auteurs tels que Wearden (1993, 1999) ainsi que Wearden et Culpin (1998) ont proposé que l'origine des écarts entre les comportements temporels des animaux non humains et des participants humains soit principalement due à une différence entre les processus de comparaison et de décision chez les deux espèces, ces processus restent très peu expliqués et la manière dont les sujets (animaux non humains et participants humains) font des comparaisons et prennent des décisions dans une tâche temporelle reste à explorer.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse permettent donc de mieux comprendre le rôle du processus de comparaison dans une tâche d'estimation temporelle précise, à savoir la tâche de reproduction d'intervalles. Nous proposons, à la Figure 20, une illustration du modèle de TIT que nous adaptions à la tâche de reproduction d'intervalles selon les processus impliqués dans chacune des deux phases de cette tâche. Pendant l'encodage d'une durée, seuls les niveaux de l'horloge interne et de la mémoire tels que décrits dans le modèle de TIT seraient impliqués. En revanche, pendant la reproduction de la durée encodée, non seulement les niveaux de l'horloge et de la mémoire seraient impliqués, mais le niveau de la décision qui implique un comparateur et se base sur une comparaison le serait aussi.

Figure 20

L'interférence asymétrique de traitement non temporel avec l'encodage et la reproduction d'intervalles de temps pourrait être mise en parallèle avec la problématique récente concernant l'interférence asymétrique de tâches secondaires avec l'encodage et la récupération d'information en mémoire retrouvée dans la littérature sur la mémoire. Des études récentes utilisant le paradigme de l'attention partagée ont, en effet, montré que lorsque les participants effectuent une tâche pendant l'encodage d'une information en mémoire, c'est-à-dire que leur attention est partagée entre l'encodage et la tâche concurrente, leurs performances à la tâche en mémoire sont moins bonnes que lorsqu'ils allouent toute leur attention à l'encodage de l'information. Par contre, lorsque l'attention des participants est partagée entre une tâche concurrente et la récupération d'une information en mémoire, les performances à la tâche en mémoire sont peu voire pas du tout touchées. Ainsi, l'exécution d'une tâche concurrente affecterait différemment l'encodage et la récupération d'information en mémoire (e.g., Baddeley, Lewis, Eldrige, & Thomson, 1984; Craik 2001; Fernandes & Moscovitch, 2000; Kellogg, Cocklin, & Bourne, 1982; Murdock, 1965; Naveh-Benjamin, Craik, Gavrilescu, & Anderson, 2000). Selon ces auteurs, la nature des ressources ainsi que les demandes d'attention posées lors de la phase d'encodage diffèrent de celles qui sont requises lors de la phase de récupération et sont à l'origine de cette asymétrie.

Ainsi, les résultats obtenus dans ces études montrent que le traitement concurrent interfère davantage avec l'encodage qu'avec la récupération d'information en mémoire.

Bien que ces résultats aillent dans le sens opposé des résultats obtenus dans le cadre de la présente thèse, il nous paraît pertinent de faire le parallèle entre ces données et celles obtenues dans le cadre de la présente thèse pour montrer que, de façon similaire aux phases d'encodage et de reproduction d'intervalles, les phases d'encodage et de récupération d'information en mémoire solliciteraient des ressources différentes et la nature de ces ressources seraient à l'origine de l'interférence asymétrique observée.

L'hypothèse de l'asymétrie des processus d'encodage et de récupération d'information en mémoire est aussi étayée par les données de la neuroimagerie qui ont montré des patrons différents d'activation préfrontale durant l'encodage et la récupération (Buckner, 1996; Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle, 1994). Tulving et al. (1994) ont d'ailleurs proposé le modèle HERA (*Hemispheric Encoding Retrieval Asymmetry*) dans lequel ils postulent une implication asymétrique des aires préfrontales lors de l'encodage et de la récupération d'information en mémoire. Selon ce modèle, le processus d'encodage serait principalement associé à une activation des régions frontales gauches alors que la récupération d'information en mémoire serait principalement associée à une activation frontale droite. Ce modèle a fait l'objet d'un nombre important de validations empiriques pour différents types de matériels et de tâches (e.g., Andreasen et al., 1995; Kapur et al., 1994; Nyberg, Cabeza, & Tulving, 1996).

Bien que la littérature sur l'implication hémisphérique lors des tâches temporelles ait connu une particulière expansion dans les dernières années, les différents résultats obtenus concernant une prédominance hémisphérique restent divergents (Monfort, Pouthas, & Ragot, 2000; Pfeuty, Ragot, & Pouthas, 2003). Par ailleurs, à notre connaissance, aucune de ces études ne s'est intéressée de façon spécifique à la

comparaison systématique de l'implication des aires cérébrales dans les phases d'encodage et de reproduction d'intervalles de temps.

4.1. Propositions de recherches futures

La présente thèse contribue à mieux connaître les processus cognitifs impliqués dans l'interférence de traitement non temporel avec la reproduction de durées. Les résultats obtenus permettent d'entrevoir des avenues de recherche qui pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'estimation temporelle.

L'une de ces avenues fait référence à l'interférence du traitement non temporel avec l'encodage de durées. Les trois premières expériences menées dans le cadre de la présente thèse montrent que l'exécution d'une tâche en mémoire affecte la phase de reproduction, mais n'interfère pas significativement avec l'encodage temporel. Cette absence statistiquement significative d'interférence est un résultat particulièrement intrigant car bien que la difficulté ainsi que les ressources requises par les tâches en mémoire aient été manipulées d'une expérience à une autre, celles-ci n'affectaient pas l'encodage d'intervalles concurrent.

L'utilisation de tâches non temporelles avec des pentes de temps de réaction en fonction de l'augmentation de la taille de l'ensemble mémoire plus élevées devrait augmenter l'effet de la tâche secondaire et affecter l'encodage temporel. L'effet de la tâche secondaire sur l'encodage sera comparé à son effet sur la reproduction de durées et permettra de confirmer l'asymétrie d'interférence observée dans la présente thèse puisque sur la base des résultats obtenus dans la présente étude, la tâche secondaire devrait affecter davantage la reproduction temporelle.

Une autre avenue de recherche émerge à la suite de la réalisation de la présente étude. Les résultats obtenus appuient l'hypothèse selon laquelle les deux phases de la tâche de reproduction d'intervalles n'impliquent pas les mêmes processus et ne sollicitent pas les mêmes ressources. La phase de reproduction nécessiterait un processus de comparaison qui n'est pas requis pendant l'encodage et solliciterait davantage de ressources qui sont nécessaires à l'exécution de ce processus.

Une nouvelle hypothèse pourrait être émise concernant les ressources requises pendant la phase de la reproduction elle-même, à savoir qu'au cours de la reproduction d'un intervalle, les demandes en termes de ressources impliquées pourraient varier. Ainsi, selon un modèle d'accumulateur, l'accumulation des indices temporels se déclenche au moment où le participant commence sa reproduction d'une durée encodée. Notre hypothèse serait que la fréquence des comparaisons des indices temporels accumulés au nombre critère en mémoire serait plus grande vers la fin de la reproduction qu'au moment où le participant commence la reproduction. En effet, puisque le nombre d'indices accumulés au début de la reproduction est encore minime, la fréquence des comparaisons entre le nombre d'indices actuellement accumulé et le nombre critère en mémoire est moins importante que vers la fin de la reproduction temporelle où le nombre d'indices accumulés devient de plus en plus proche du nombre d'indices critère (Figure 21). Les ressources nécessaires au processus de comparaison seraient, par conséquent, davantage sollicitées vers la fin de la reproduction qu'au début. L'effet du partage de ces ressources avec un traitement non temporel concurrent à la reproduction ne serait pas le même au début et à la fin de la reproduction.

Figure 21

Les résultats obtenus dans le cadre de la présente thèse n'apportent pas d'informations concernant cette hypothèse, puisque les localisations de traitement non temporel concurrent n'ont pas été manipulées (dans les trois premières expériences, les tâches en mémoire étaient toujours présentées à 20 % de la durée totale de l'intervalle cible et dans la quatrième expérience, l'interruption a été fixée à 40 % ou à 60 % de la durée totale de l'intervalle cible). Elle pourrait donc être vérifiée si la localisation d'une tâche non temporelle est manipulée dans une expérience. Ainsi, si la tâche est présentée au début de la phase de reproduction (par exemple, au moment où le participant commence sa reproduction), son interférence devrait être inférieure à celle qui est obtenue si la tâche est présentée plus tard pendant la reproduction. Par ailleurs, l'effet d'interférence asymétrique pourrait être aboli dans ce cas, et l'interférence de la tâche en mémoire présentée au début de la phase de reproduction devrait être similaire à son interférence avec la phase d'encodage puisque la tâche en mémoire partage, dans les deux cas, les mêmes ressources nécessaires au processus d'accumulation.

La recherche sur l'estimation temporelle a progressé de façon très rapide dans les vingt dernières années. Ce progrès, soutenu par le développement de nouvelles méthodes et technologies de recherche, soulève de nouveaux défis et de nouveaux questionnements. En somme, les résultats obtenus dans le cadre de la présente thèse s'inscrivent dans le cadre de ces questionnements et suggèrent des interprétations à considérer pour les recherches futures.

Références

- Allan, L. G. (1979). The perception of time. *Perception & Psychophysics*, 26(5), 340-354.
- Allan, L. G. (1992). The internal clock revisited. Dans F. Macar, V. Pouthas, & W. J. Friedman (Eds.), *Time, action and cognition: Towards bridging the gap* (pp. 191-202). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Allan, L. G. (1998). The influence of the scalar timing model on human timing research. *Behavioural Processes*, 44, 101-117.
- Allan, L. G. (2002a). Are the referents remembered in temporal bisection? *Learning & Motivation*, 33, 10-31.
- Allan, L. G. (2002b). The location and interpretation of the bisection point. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55(B), 43-61.
- Allan, L. G., & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning & Motivation*, 22, 39-58.
- Andreasen, N. C., O'Leary, D. S., Arndt, S., Cizaldo, T., Hurtig, R., Rezai, K., Watkins, G. L., Boles Ponto, L. L., & Hichwa, R. D. (1995). Short-term and long-term verbal memory: A Positron Emission Tomography study. *Proceedings of the National Academy of Science*, 92, 5111-5115.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., Eldridge, M., & Thomson, N. (1984). Attention and retrieval from long-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 13, 518-540.
- Block, R. A. (1990). Models of psychological time. Dans R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 1-35). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.

- Boltz, M. (1991). Time estimation and attentional perspective. *Perception & Psychophysics*, 49(5), 422-433.
- Buckner, R. L. (1996). Beyond HERA: Contributions of specific prefrontal brain areas to long-term memory retrieval. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(2), 149-158.
- Burle, B., & Casini, L. (2001). Dissociation between activation and attention effects in time estimation: Implications for internal clock models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 195-205.
- Brown, S. W. (1985). Time perception and attention: The effects of prospective versus retrospective paradigms and task demands on perceived duration. *Perception & Psychophysics*, 38, 115-124.
- Brown, S. W. (1995). Time, change, and motion: The effect of stimulus movement on temporal perception. *Perception & Psychophysics*, 57(1), 105-116.
- 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., & West, A. N. (1990). Multiple timing and the allocation of attention. *Acta Psychologica*, 75, 103-121.
- Cabeza de Vaca, S., Brown, B. L., & Hemmes, N. S. (1995). Internal clock and memory processes in animal timing. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20(2), 184-198.
- Casini, L., & Macar, F. (1997). Effects of attention manipulation on perceived duration and intensity in the visual modality. *Memory and Cognition*, 25, 812-818.

- Casini, L., & Macar, F. (1999). Multiple approaches to investigate the existence of an internal clock using attentional resources. *Behavioural Processes*, *45*, 73-85.
- Church, R. M. (1984). Properties of internal clock. Dans J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (Annals of New York Academy of Sciences, Vol. 403, pp. 566-582). New York: New York Academy of Sciences.
- Church, R. M. (1997). Timing and temporal search. Dans C. M. Bradshaw & E. Szabadi (Eds.), *Time and behaviour: Psychological and Neurobehavioural Analyses* (pp. 41-78). Amsterdam: Elsevier.
- Church, R. M., & Broadbent, H. A. (1991). A connectionist model of timing. Dans M. L. Commores, S. Grossberg, & J. E. R. Staddon (Eds.), *Neural network models of conditioning and action* (pp. 225-240). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Craik, F. I. M. (2001). Effects of dividing attention on encoding and retrieval processes. Dans H. L. Roediger III, J. S. Nairne, I. Neath, & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honour of Robert G. Crowder* (pp. 55-68). Decade of behavior.
- Droit-Volet, S., & Wearden, J. H. (2003). Les modèles d'horloge interne en psychologie du temps. *L'année psychologique*, *104*, 617-654.
- Fernandes, M. A., & Moscovitch, M. (2000). Divided attention and memory: Evidence of substantial interference effects both at retrieval and encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*, 155-176.
- Fortin, C. (1999). Short-term memory in temporal interval production. *International Journal of Psychology*, *34*, 308-316.

- Fortin, C., Bédard, M.-C., & Champagne, J. (1999, novembre). *Stimulus-task mapping in interrupted time production*. Affiche présentée au Psychonomic Society 40th Annual Meeting. Los Angeles, California.
- Fortin, C., & Breton, R. (1995). Temporal interval production and processing in working memory. *Perception & Psychophysics*, *57*(2), 203-215.
- Fortin, C., & Couture, E. (2002). Short-term memory and time estimation: Beyond the 2-second "critical" value. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*(2), 120-127.
- Fortin, C., Duchet, M.-L., & Rousseau, R. (1996). Tapping sensitivity to processing in short-term memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *50*, 402-407.
- Fortin, C., & Massé, N. (1999). Order information in short-term memory and time estimation. *Memory & Cognition*, *27*, 54-62.
- Fortin, C., & Massé, N. (2000). Expecting a break in time estimation: Attentional time-sharing without concurrent processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(6), 1788-1796.
- Fortin, C., & Rousseau, R. (1998). Interference from short-term memory processing on encoding and reproducing brief duration. *Psychological Research*, *61*, 269-276.
- Fortin, C., Rousseau, R., Bourque, P., & Kirouac, E. (1993). Time estimation and concurrent nontemporal processing: Specific interference from short-term memory demands. *Perception & Psychophysics*, *53*(5), 536-548.

- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. Dans J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (Annals of New York Academy of Sciences, Vol. 403, pp. 52-77). New York: New York Academy of Sciences.
- Harrington, D. L., & Haaland, K. Y. (1999). Neural underpinnings of temporal processing: A review of focal lesion, pharmacological and functional imaging research. *Reviews in the Neurosciences*, 10(2), 91-116.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Hermanowicz, N. (1998). Temporal processing in the basal ganglia. *Neuropsychology*, 12(1), 3-12.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Knight, R. T. (1998). Cortical networks underlying mechanisms of time perception. *Journal of Neuroscience*, 18(3), 1085-1095.
- Hemmes, N. S., Brown, B. L., & Klapodopoulos, C. N. (2004). Time perception with and without a concurrent nontemporal task. *Perception & Psychophysics*, 66(2), 328-341.
- Hicks, R. E., Miller, G. W., & Kinsbourne, M. (1976). Prospective and retrospective judgments of time as a function of amount of information processed. *American Journal of Psychology*, 89, 719-730.
- Hoagland, H. (1933). The physiological control of judgments of duration: Evidence for a chemical clock. *Journal of General Psychology*, 9, 267-287.
- Jones, D. M., & Tremblay, S. (2000). Interference in memory by process or content? A reply to Neath (2000). *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(3), 550-558.
- Kellogg, R. T., Cocklin, T., & Bourne, L. E., Jr. (1982). Conscious attentional demands of encoding and retrieval from long term memory. *American Journal of Psychology*, 95, 183-198.

- Kapur, S., Craik, F. I. M., Tulving, E., Wilson, A. A., Houle, S., & Brown, G. M. (1994). Neuroanatomical correlates of encoding in episodic memory: Levels of processing effect. *Proceedings of the National Academy of Science, 91*, 2008-2011.
- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review, 95*, 274-295.
- Lejeune, H. (1998). Switching or gating? The attentional challenge in cognitive models of psychological time. *Behavioural Processes, 44*, 127-145.
- Lejeune, H. (2000). Prospective timing, attention and the switch: A response to « Gating or switching? Gating is a better model of prospective timing » by Zakay. *Behavioural Processes, 52*, 71-76.
- Macar, F. (2002). Expectancy, controlled attention and automatic attention in prospective temporal judgments. *Acta Psychologica, 111*, 243-262.
- Macken, B. W., Tremblay, S., Alford, D., & Jones, D. (1999). Attentional selectivity in short-term memory: Similarity of process, not similarity of content, determines disruption. *International Journal of Psychology, 34*(5/6), 322-327.
- McClain, L. (1983). Interval estimation: Effect of processing demands on prospective and retrospective reports. *Perception & Psychophysics, 34*(2), 185-189.
- Meck, W. H. (1984). Attentional bias between modalities: Effect on internal clock, memory, and decision stages used in animal time discrimination. Dans J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (Annals of New York Academy of Sciences, Vol. 423, pp. 528-541). New York: New York Academy of Sciences.
- Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. *Cognitive Brain Research, 3*, 227-242.

- Meck, W. H. (2003). *Functional and neural mechanisms of interval timing*. CRC Press.
- Michon, J. A., & Jackson, J. L. (1984). Attentional effort and cognitive strategies in the processing of temporal information. Dans J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 423, pp. 298-321). New York: New York Academy of Sciences.
- Monfort, V., Pouthas, V., & Ragot, R. (2000). Role of frontal cortex in memory for duration: An event-related potential study in human. *Neuroscience Letters*, 286(2), 91-94.
- Murdock, B. B. (1965). Effects of subsidiary task on short term memory. *British Journal of Psychology*, 56, 413-419.
- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Gavrilesco, D., & Anderson, N. D. (2000). Asymmetry between encoding and retrieval processes: Evidence from divided attention and a calibration analysis. *Memory & Cognition*, 28(6), 965-976.
- Navon, D. (1984). Resources: A theoretical soup stone? *Psychological Review*, 91, 216-234.
- Neath, I., & Fortin, C. (sous presse). Is the interference between memory processing and timing specific to the use of verbal material? *Memory*.
- Nyberg, L., Cabeza, R., & Tulving, E. (1996). PET studies of encoding and retrieval: The HERA model. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(2), 135- 148.
- Perbal, S., Ehrle, N., Samson, S., Naulac, M., & Pouthas, V. (2001). Time estimation in patients with right or left medial-temporal lobe resection. *Neuroreport*, 12(5), 939-942.

- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V. (2003). When time is up: CNV time course differentiates the roles of the hemispheres in the discrimination of short tone durations. *Experimental Brain Research*, *151*, 372-379.
- Rammsayer, T. (1989). Is there a common dopaminergic basis of time perception and reaction time? *Neuropsychobiology*, *36*, 37-42.
- Rao, S. M., Mayer, A. R., & Harrington, D. L. (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neuroscience*, *4*(3), 317-323.
- Roberts, S. (1981). Isolation of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *7*, 242-268.
- Roberts, S., & Church, R. M. (1978). Control of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *4*, 318-337.
- Rousseau, R., Picard, D., & Pitre, E. (1984). An adaptative counter model for time estimation. Dans J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 423, pp. 639-642). New York: New York Academy of Sciences.
- Shinohara, K. (1999). Resource for temporal information processing in interval production. *Perceptual & Motor Skills*, *88*, 917-928.
- Staddon, J. E. R., & Higa, J. J. (1991). Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *71*(2), 215-251.
- Thomas, E. A. C., & Weaver, W. B. (1975). Cognitive processing and time perception. *Perception & Psychophysics*, *17*, 363-367.

- Treisman, M. (1963). Temporal discriminations and the indifference interval: Implications for a model of the internal clock. *Psychological Monographs*, 576, 1-31.
- Tremblay, S., & Fortin, C. (2003). Break expectancy in duration discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 823-831.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron Emission Tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 2016-2020.
- Wearden, J. H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43(B), 59-81.
- Wearden, J. H. (1992). Temporal generalization in humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 18, 134-144.
- Wearden, J. H. (1993). Decisions and memories in human timing. *Psychologica Belgica*, 33(2), 241-253.
- Wearden, J. H. (1999). "Beyond the fields we know...": Exploring and developing scalar timing theory. *Behavioral Processes*, 45, 3-21.
- Wearden, J. H., & Culpin, V. (1998). Exploring scalar timing theory with human subjects. Dans V. De Keyser, G. D'Ydewalle, & A. Vanderiendonck (Eds.), *Time and the Dynamic control of behavior* (pp. 97-108). Gottingen: Hogrefe & Huber Publishers.
- Wearden, J. H., & Doherty, M. F. (1995). Exploring and developing a connectionist model of animal timing: Peak procedure and fixed interval simulations. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Process*, 21, 99-115.

- Wearden, J. H., & McShane, B. (1988). Interval production as an analogue of the peak procedure: Evidence for similarity of human and animal timing processes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40(B), 363-375.
- Wearden, J. H., Pelkington, R., & Carter, E. (1999). « Subjective lengthening » during repeated testing as a simple temporal discrimination. *Behavioral Processes*, 46, 25-38.
- Wearden, J. H., & Penton-Voak, I. S. (1995). Feeling the heat: Body temperature and the rate of subjective time, revisited. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48(B), 129-141.
- Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. Dans R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press.
- Wing, A. M. (2002). Voluntary timing and brain function: An information processing approach. *Brain & Cognition*, 48, 7-30.
- Zakay, D. (1989). Subjective time and attentional resource allocation: An integrate model of time estimation. Dans I. Levin & D. Zakay (Eds.), *Time and human cognition: A life-span perspective* (pp. 365-397). Amsterdam: Elsevier.
- Zakay, D. (1990). The evasive art of subjective time measurement: Some methodological dilemmas. Dans R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 59-84). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Zakay, D. (1993). Relative and absolute duration judgment under prospective and retrospective paradigms. *Perception & Psychophysics*, 54, 656-664.
- Zakay, D. (1998). Attention allocation policy influences prospective timing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 114-118.

Zakay, D. (2000). Gating or switching? Gating is a better model of prospective timing (a response to « Switching or gating? » by Lejeune). *Behavioural Processes*, 52, 63-69.

Zakay, D., & Block, R. A. (1996). The role of attention in time estimation processes. Dans M. A. Pastor & J. Artieda (Eds.), *Time, internal clocks and movement* (pp. 143-163). Amsterdam: Elsevier.

Tableau 1

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 1).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2455	2823	3110
Écart-types	416	462	438

Tableau 2

Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'item dans un paradigme de TR (Expérience 1).

Tailles de l'ensemble mémoire	2	4
Moyennes	815	900
Écart-types	341	427

Tableau 3

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 1 : RM / ET).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2475	2717	2931
Écart-types	727	679	740

Tableau 4

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 1 : RM / RT).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2553	2832	3127
Écart-types	586	661	702

Tableau 5

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 1 : RM / ET).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	548092.13	548092.13	1.26
Sujet (EM)	13	6942653.4	433915.8	
Durée (D)	2	52348433.13	26174216.57	45.64****
Sujet (D)	32	18351793.3	573493.5	
EM X D	2	728715.94	364357.97	0.98
Sujet (EM X D)	32	11906189.3	372068.4	

**** $p < .0001$.

Tableau 6

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 1 : RM / RT).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	5888250.06	5888250.06	4.84*
Sujet (EM)	16	18006597.9	1125412.4	
Durée (D)	2	79719219.41	39859609.70	70.72****
Sujet (D)	32	17636864.4	551152.0	
EM X D	2	128115.02	64057.51	0.30
Sujet (EM X D)	32	6849744.3	214054.5	

* $p < .04$. **** $p < .0001$.

Tableau 7

Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire

(Expérience 1 : RM / ET).

Tailles de l'ensemble mémoire	2	4
Moyennes	724	789
Écart-types	281	282

Tableau 8

Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire

(Expérience 1 : RM / RT).

Tailles de l'ensemble mémoire	2	4
Moyennes	680	778
Écart-types	324	393

Tableau 9

Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'ordre temporel dans un paradigme de TR (Expérience 2).

Tailles de l'ensemble mémoire	2	4
Moyennes	912	1316
Écart-types	375	464

Tableau 10

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 2).

Durées à reproduire	1600	2000	2400
Moyennes	1738	2059	2295
Écart-types	164	146	177

Tableau 11

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 2 : RM / ET).

Durées à reproduire	1600	2000	2400
Moyennes	1653	1858	2087
Écart-types	430	373	416

Tableau 12

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 2 : RM / RT).

Durées à reproduire	1600	2000	2400
Moyennes	2323	2464	2595
Écart-types	575	563	575

Tableau 13

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 2 : RM / ET).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	557815.83	557815.83	3.42
Sujet (EM)	13	2069832.75	159217.90	
Durée (D)	2	77090855.95	38545427.98	43.56****
Sujet (D)	26	22973596.65	883599.87	
EM X D	2	3614.19	1807.09	0.02
Sujet (EM X D)	26	2210790.39	85030.40	

**** $p < .0001$.

Tableau 14

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 2 : RM / RT).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	28346786.15	28346786.15	58.50****
Sujet (EM)	13	6404716.4	492670.5	
Durée (D)	2	32196783.42	16098391.71	19.76****
Sujet (D)	26	21156611.5	813715.8	
EM X D	2	2070179.85	1035089.92	6.06***
Sujet (EM X D)	26	4443583.1	170907.0	

*** $p < .006$. **** $p < .0001$.

Tableau 15

Moyennes et écart-types (ms) des TR pour les deux tailles de l'ensemble mémoire dans les essais de traitement d'information d'ordre spatial dans un paradigme de TR (Expérience 3).

Tailles de l'ensemble mémoire	2	4
Moyennes	938	1311
Écart-types	171	224

Tableau 16

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 3).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2487	2854	3196
Écart-types	193	155	119

Tableau 17

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 3 : EM / ET).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2485	2783	3070
Écart-types	470	517	556

Tableau 18

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées (Expérience 3 : EM / RT).

Durées à reproduire	2400	2800	3200
Moyennes	2640	2965	3266
Écart-types	589	558	512

Tableau 19

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 3 : EM / ET).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	1749798.94	1749798.94	1.57
Sujet (EM)	14	15212801.9	1086628.7	
Durée (D)	2	1515755893.9	75787947.0	154.2****
Sujet (D)	28	13589116.5	485325.6	
EM X D	2	1739700.35	869850.17	4.84**
Sujet (EM X D)	28	5035586.7	179842.4	

****** $p < .01$. ******** $p < .0001$.

Tableau 20

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la taille de l'ensemble mémoire et des durées à reproduire (Expérience 3 : EM / RT).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Taille de l'ensemble mémoire (EM)	1	6448848.57	6448848.57	4.89*
Sujet (EM)	14	18282167.7	1305869.1	
Durée (D)	2	177833480.7	88916740.3	112.84****
Sujet (D)	28	22135239.0	790544.3	
EM X D	2	1415759.13	707879.56	2.70
Sujet (EM X D)	28	7336600.1	262021.4	

* $p < .04$. **** $p < .0001$.

Tableau 21

Moyennes et écart-types (ms) des reproductions temporelles pour chacune des trois durées dans les essais de reproductions seules (Expérience 4).

Durées à reproduire	2000	2400	2800
Moyennes	2095	2425	2711
Écart-types	343	319	280

Tableau 22

Moyennes (écart-types) des reproductions temporelles (en ms) pour chacune des trois durées et des deux localisations de l'interruption (Expérience 4 : I / ET).

Durée à reproduire			
Localisation	2000	2400	2800
40 %	2278	2541	2779
	(354)	(352)	(385)
60 %	2219	2483	2703
	(406)	(384)	(393)

Tableau 23

Moyennes (écart-types) des reproductions temporelles (en ms) pour chacune des trois durées et des deux localisations de l'interruption (Expérience 4 : I / RT).

Durée à reproduire			
Localisation	2000	2400	2800
40 %	2462	2746	3145
	(489)	(459)	(441)
60 %	2559	2869	3356
	(532)	(546)	(540)

Tableau 24

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la localisation de l'interruption, de sa durée et des durées à reproduire (Expérience 4 : I / ET).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Localisation de l'interruption (Locali)	1	2289947.37	2289947.37	6.79**
Sujet (Locali)	14	4721686.2	337263.3	
Durées d'interruption (DI)	1	643853.30	643853.30	4.21
Sujet (DI)	14	2141396.4	152956.89	
Locali X DI	1	6874.058014	6874.058014	0.23
Sujet (Locali X DI)	14	423740.22	30267.16	
Durées (D)	2	87065512.82	43532756.41	70.07****
Locali X D	2	30998.66423	15499.33212	0.12

** $p < .02$. **** $p < .0001$.

Tableau 25

Analyse de variance effectuée sur les moyennes des reproductions temporelles en fonction de la localisation de l'interruption, de sa durée et des durées à reproduire (Expérience 4 : I / RT).

<i>Source</i>	<i>dl</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>F</i>
Localisation de l'interruption (Locali)	1	10976874.83	10976874.83	11.34***
Sujet (Locali)	14	134525517.4	960894.1	
Durées d'interruption (DI)	1	196658.2794	196658.2794	0.89
Sujet (DI)	14	3078370.5	219883.6	
Locali X DI	1	18601.99063	18601.99063	0.12
Sujet (Localo X DI)	14	2117149.5	151225.0	
Durées (D)	2	199133884.2	99566942.1	272.57****
Locali X D	2	1260825.179	630412.589	3.05

*** $p < .005$. **** $p < .0001$.

Présentation des figures

Figure 1. Représentation schématique du modèle de traitement d'information temporelle de Church (1984) ainsi que Gibbon et al. (1984). Les flèches à traits continus qui relient chaque élément du modèle représentent le circuit des indices temporels. La flèche à trait discontinu représente l'influence de l'attention sur l'interrupteur (d'après Meck, 1984). Les niveaux d'horloge interne, de mémoire et de décision représentent les trois étapes nécessaires au traitement de l'information temporelle.

Figure 2. Représentation schématique du modèle de barrière attentionnelle de Zakay et Block (1996). Les flèches à traits continus qui relient chaque élément du modèle représentent le circuit des indices temporels. La flèche à trait discontinu représente l'influence de l'attention sur la barrière attentionnelle. L'élément nouveau et majeur dans ce modèle est la barrière attentionnelle représentée dans une boîte à trait discontinu entre l'émetteur et l'interrupteur.

Figure 3a. Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche de reproduction temporelle selon le modèle de traitement d'information temporelle. Les chiffres romains représentent les deux phases de la tâche de reproduction, l'encodage (I) et la reproduction (II) temporels. Pendant la phase d'encodage, le premier son annonce le début de l'intervalle (T) à reproduire et initialise le processus d'accumulation des indices temporels. Le second son met fin à ce processus. Un nombre d'indices critère correspondant à la durée de l'intervalle cible est atteint et est enregistré. Pendant la phase de reproduction, le participant commence sa reproduction par la pression d'une touche. L'accumulation des indices temporels est alors initialisée et se poursuit jusqu'à l'atteinte du nombre d'indices critère. Le participant met alors fin à sa

reproduction par une deuxième pression. La durée de l'intervalle reproduit (T') est égale à (T).

Figure 3b. Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche en mémoire simultanément à la phase d'encodage d'un intervalle de temps. Les chiffres romains représentent les deux phases de la tâche de reproduction, l'encodage (I) et la reproduction (II) temporels. Pendant l'encodage, le premier son annonce le début de l'intervalle à reproduire et initialise le processus d'accumulation des indices temporels. Cette accumulation est interrompue pendant le traitement de la tâche en mémoire concurrente. L'accumulation reprend ensuite jusqu'à ce que le second son annonce la fin de l'intervalle. Un nombre d'indices critère est alors enregistré. Ce nombre ne correspond pas au nombre critère qui renvoie à la durée réelle de l'intervalle cible, représenté en pointillé sur la Figure. Le participant commence par la suite sa reproduction de l'intervalle temporel par une première pression de touche et met fin à sa reproduction en effectuant une seconde pression de touche lorsque le nombre d'indices critère accumulé pendant l'encodage est atteint. Sa reproduction serait raccourcie proportionnellement à la durée qui a été nécessaire au traitement de la tâche en mémoire ($T' < T$).

Figure 3c. Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche en mémoire simultanément à la phase de reproduction d'un intervalle de temps. Les chiffres romains représentent les deux phases de la tâche de reproduction, l'encodage (I) et la reproduction (II) temporels. Pendant l'encodage, le premier son annonce le début de l'intervalle (T) à reproduire et initialise le processus d'accumulation des indices temporels qui se termine dès que le second son annonce la fin

de l'intervalle. Un nombre d'indices critère est alors enregistré. Le participant commence par la suite sa reproduction et le processus d'accumulation est alors enclenché.

L'exécution de la tâche en mémoire concurrente interrompt cette accumulation qui reprend ensuite avec la fin du traitement de l'information en mémoire. Lorsqu'il estime que le nombre d'indice critère enregistré pendant l'encodage est atteint, le participant met fin à sa reproduction. La durée de l'intervalle (T') reproduit serait allongée proportionnellement à la durée qui a été nécessaire au traitement de l'information en mémoire ($T' > T$). Le moment où le participant aurait dû finir sa reproduction est représenté par une ligne à trait discontinu.

Figure 4. Illustration schématique du processus d'accumulation des indices temporels lors d'un essai de production temporelle interrompue. Le participant commence sa production par une première pression de touche. Le processus d'accumulation débute alors et se poursuit jusqu'à ce qu'un signal indique au participant d'interrompre momentanément son estimation. À la fin du signal, l'accumulation des indices temporels reprend jusqu'à l'atteinte du nombre d'indices critère. Le participant met alors fin à sa production.

Figure 5a. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 1 (sessions 1 et 2). Lorsque prêt, le participant commence l'essai de la condition Reproduction d'intervalles temporels en appuyant sur la barre d'espace. L'intervalle cible à encoder, délimité par deux sons successifs, est alors présenté. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle. Une

rétroaction « TROP COURT », « CORRECT » ou « TROP LONG » par rapport aux reproductions temporelles du participant apparaît par la suite au centre de l'écran.

Un essai expérimental de la condition Traitement d'information d'item en mémoire commence par la présentation successive des lettres de l'ensemble mémoire. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible. Une lettre apparaît alors et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la lettre fait partie ou non de l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » par rapport à la réponse du participant apparaît par la suite sur l'écran.

Figure 5b. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 1 (sessions 3 et 4). Un essai de la condition RM / ET commence par la présentation successive des lettres de l'ensemble mémoire. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de l'intervalle à reproduire. Un son marque le début et la fin de cet intervalle. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une lettre apparaît au centre de l'écran et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la lettre fait partie ou non de l'ensemble mémoire présenté, tout en continuant son encodage de l'intervalle temporel. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle. Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » par rapport à la réponse du participant à la tâche en mémoire apparaît au centre de l'écran à la fin de chaque essai.

Un essai expérimental de la condition RM / RT commence par la présentation de l'intervalle temporel à reproduire, délimité par deux sons successifs. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer l'encodage de l'ensemble des lettres à mémoriser. Le mot « REPRODUCTION » apparaît ensuite au centre de l'écran. Le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle présenté. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une lettre est présentée. Le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la lettre fait partie ou non de l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction concernant la performance à la tâche en mémoire est fournie à la fin de l'essai.

Figure 6. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la taille de l'ensemble mémoire dans l'Expérience 1. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 7. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions dans l'Expérience 1. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 8a. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 2 (blocs 1 et 2). Lorsque prêt, le participant commence un essai de la condition Traitement d'information d'ordre temporel en mémoire en appuyant sur la barre d'espace. Les lettres de l'ensemble mémoire sont présentées de façon successive. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible. Une lettre et un chiffre apparaissent alors et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche

« OUI » ou sur la touche « NON » si le chiffre indique ou non la bonne position temporelle de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » apparaît par la suite sur l'écran.

Un essai expérimental de la condition Reproduction d'intervalles temporels se déroule de façon identique aux essais de cette condition dans l'Expérience 1.

Figure 8b. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 2 (blocs 3 et 4). Un essai expérimental de la condition RM / ET commence par la présentation successive des lettres de l'ensemble mémoire. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la touche « 2 » pour amorcer la présentation de l'intervalle à reproduire. Un son marque le début et la fin de cet intervalle. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une lettre et un chiffre apparaissent au centre de l'écran et restent présents jusqu'à la fin de la présentation de l'intervalle. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur une des deux touches « OUI » ou « NON » pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle temporel présenté. Si le chiffre indique la bonne position temporelle de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté, le participant doit effectuer sa reproduction en appuyant successivement sur la touche « OUI », sinon il doit commencer et finir sa reproduction en appuyant successivement sur la touche « NON ». Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » par rapport à la réponse du participant à la tâche en mémoire apparaît par la suite sur l'écran.

Un essai expérimental de la condition RM / RT commence par la présentation de l'intervalle temporel à reproduire. Un point de fixation « * » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer

l'encodage de l'ensemble des lettres à mémoriser. Le mot « REPRODUCTION » apparaît ensuite au centre de l'écran. Le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer sa reproduction de l'intervalle présenté. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, une lettre et un chiffre sont présentés. Le participant doit finir sa reproduction de l'intervalle en appuyant sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si le chiffre indique ou non la bonne position de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction concernant la performance à la tâche en mémoire est fournie à la fin de l'essai.

Figure 9. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la taille de l'ensemble mémoire dans l'Expérience 2. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 10. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions dans l'Expérience 2. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 11a. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 3 (blocs 1 et 2). Lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer un essai de la condition Traitement d'information d'ordre spatial en mémoire. Les lettres de l'ensemble mémoire sont alors présentées simultanément au centre de l'écran. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour amorcer la présentation de la cible. Une lettre dans une matrice apparaît et le participant doit appuyer le plus rapidement sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la cible dans la matrice est présentée à la bonne position spatiale de la

lettre dans l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » apparaît par la suite sur l'écran.

Un essai expérimental de la condition Reproduction d'intervalles temporels se déroule de façon identique aux essais de cette condition dans les Expériences 1 et 2.

Figure 11b. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 3 (blocs 3 et 4). Un essai expérimental de la condition EM / ET commence par la présentation de l'intervalle temporel délimité par deux sons successifs. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, les lettres de l'ensemble mémoire sont présentées simultanément. Le mot « IDENTIFICATION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la touche « 2 » pour amorcer la présentation de la cible. Une lettre dans une matrice apparaît et le participant doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la cible dans la matrice est présentée ou non à la bonne position spatiale de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et lorsque prêt, le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle temporel présenté. Une rétroaction « CORRECT » ou « ERREUR » par rapport à la réponse du participant à la tâche en mémoire apparaît par la suite sur l'écran.

Un essai expérimental de la condition EM / RT commence par la présentation de l'intervalle temporel à reproduire délimité par deux sons successifs. Le mot « REPRODUCTION » apparaît ensuite au centre de l'écran. Le participant appuie sur la touche « 2 » pour commencer et finir sa reproduction de l'intervalle présenté. À 20 % de la durée totale de l'intervalle, les lettres de l'ensemble mémoire sont présentées simultanément et restent présentes jusqu'à la fin de la reproduction de l'intervalle. Le mot

« IDENTIFICATION » apparaît par la suite et reste présent jusqu'à ce que le participant appuie sur la touche « 2 » pour amorcer la présentation de la cible. Le participant doit appuyer le plus rapidement sur la touche « OUI » ou sur la touche « NON » si la cible indique ou non la bonne position spatiale de la lettre dans l'ensemble mémoire présenté. Une rétroaction concernant la performance à la tâche en mémoire est fournie à la fin de l'essai.

Figure 12. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la taille de l'ensemble mémoire dans l'Expérience 3. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 13. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions dans l'Expérience 3. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 14. Illustration schématique d'un essai expérimental de l'Expérience 4. Lorsque prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer un essai expérimental de la condition Reproduction d'intervalles temporels. Un son continu qui représente la durée l'intervalle cible à encoder et à reproduire est alors présenté. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et lorsqu'il est prêt, le participant appuie sur la barre d'espace pour commencer et pour finir sa reproduction de l'intervalle.

Un essai expérimental de la condition I / ET commence par la présentation de l'intervalle à reproduire. À 40 % ou à 60 % de la durée totale de l'intervalle, le son est interrompu. Le participant reçoit la consigne d'interrompre son estimation de l'intervalle pendant la durée de l'interruption du son et de la reprendre lorsque le son est repris. Le mot « REPRODUCTION » apparaît par la suite et le participant doit appuyer sur la barre

d'espacement pour commencer et pour finir sa reproduction de l'intervalle temporel encodé.

Un essai expérimental de la condition I / RT se déroule de façon identique à un essai de la condition I / ET sauf que le son est interrompu pendant la reproduction et non pas l'encodage de l'intervalle temporel.

Figure 15. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la durée reproduite et des localisations des interruptions dans l'Expérience 4, durée 2000 ms. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 16. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la durée reproduite et des localisations des interruptions dans l'Expérience 4, durée 2400 ms. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 17. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction de la durée reproduite et des localisations des interruptions dans l'Expérience 4, durée 2800 ms. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 18. Moyennes des reproductions temporelles ($\pm ES$) en fonction des durées à reproduire et en fonction des conditions dans l'Expérience 4. Une barre d'erreur représente une erreur standard calculée à partir de l'écart type de la moyenne.

Figure 19. Illustration schématique des processus d'accumulation et de comparaison des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche de reproduction temporelle. Pendant la phase d'encodage, le premier son annonce le début de l'intervalle à reproduire et initialise

le processus d'accumulation des indices temporels. Le second son met fin à ce processus. Un nombre d'indices critère correspondant à la durée de l'intervalle cible est atteint et est enregistré. Pendant la phase de reproduction, le participant commence sa reproduction par la pression d'une touche. L'accumulation des indices temporels est alors initialisée. Cette accumulation est accompagnée par un processus de comparaison des indices actuellement accumulés au nombre d'indices critère en mémoire. Le participant met fin à sa reproduction lorsque le nombre d'indices critère est atteint.

Figure 20. Représentation schématique du modèle de traitement d'information temporelle de Church (1984) ainsi que Gibbon et al. (1984) adapté aux phases d'encodage et de reproduction d'intervalles temporels. Pendant l'encodage, seuls les niveaux de l'horloge interne et de la mémoire sont impliqués dans le traitement de l'information temporelle. Le niveau de décision, représenté en trait discontinu, ne serait pas mis en jeu pendant l'encodage. En revanche, pendant la reproduction de l'intervalle encodé, non seulement les niveaux de l'horloge et de la mémoire sont impliqués, mais le niveau de la décision est sollicité. En effet, le comparateur joue un rôle important dans cette phase.

Figure 21. Illustration schématique des processus d'accumulation et de comparaison des indices temporels lors de l'exécution d'une tâche de reproduction temporelle. Pendant la phase d'encodage, seul le processus d'accumulation des indices temporels est mis en jeu. Un nombre d'indices critère correspondant à la durée de l'intervalle cible est atteint et est enregistré. Pendant la phase de reproduction, le participant commence sa reproduction par la pression d'une touche. L'accumulation des indices temporels est alors initialisée. Cette accumulation est accompagnée par un processus de comparaison des indices actuellement accumulés au nombre d'indices critère en mémoire dont la fréquence

devient plus grande vers la fin de la reproduction. Le participant met fin à sa reproduction lorsque le nombre d'indices critère est atteint.

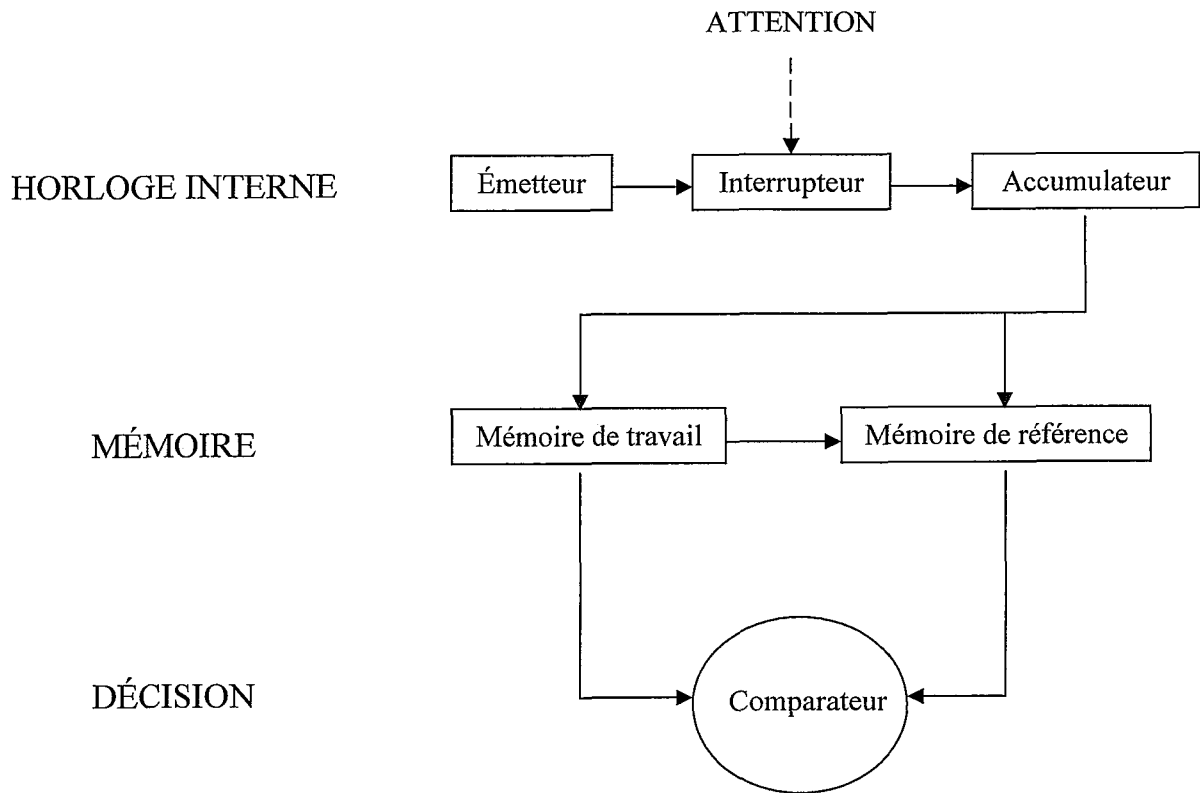


Figure 1

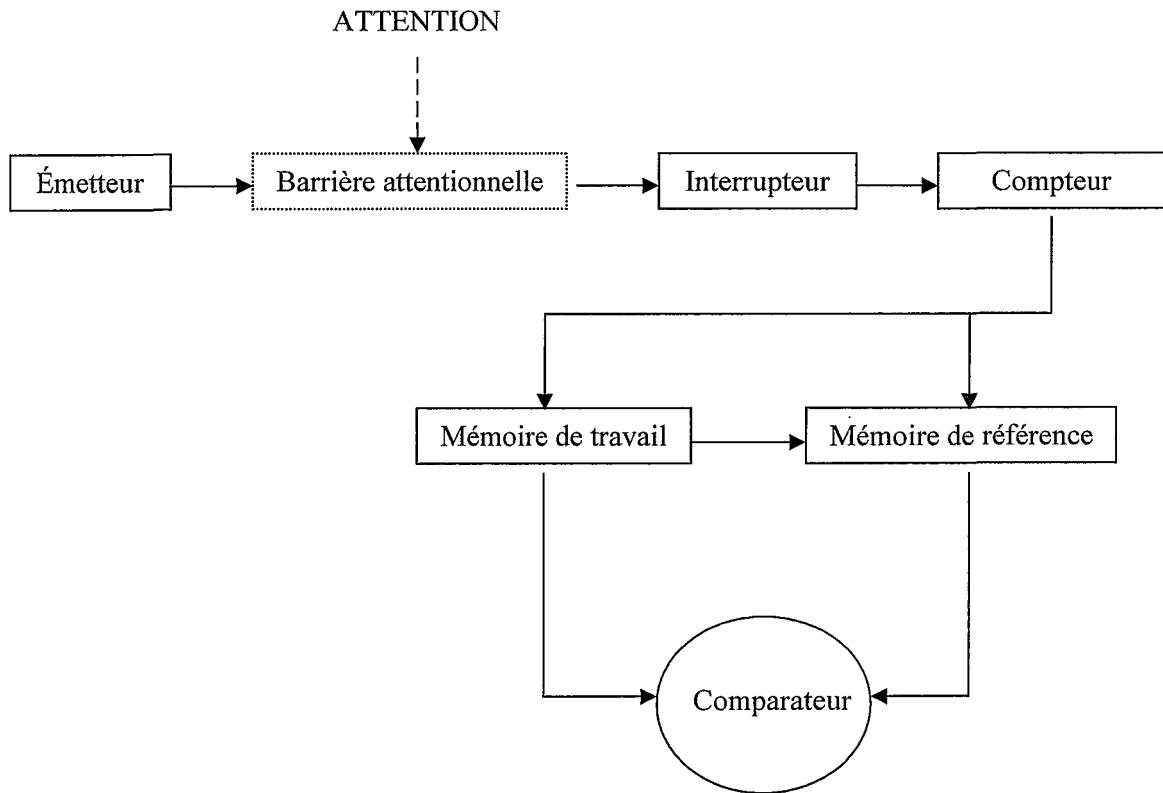


Figure 2

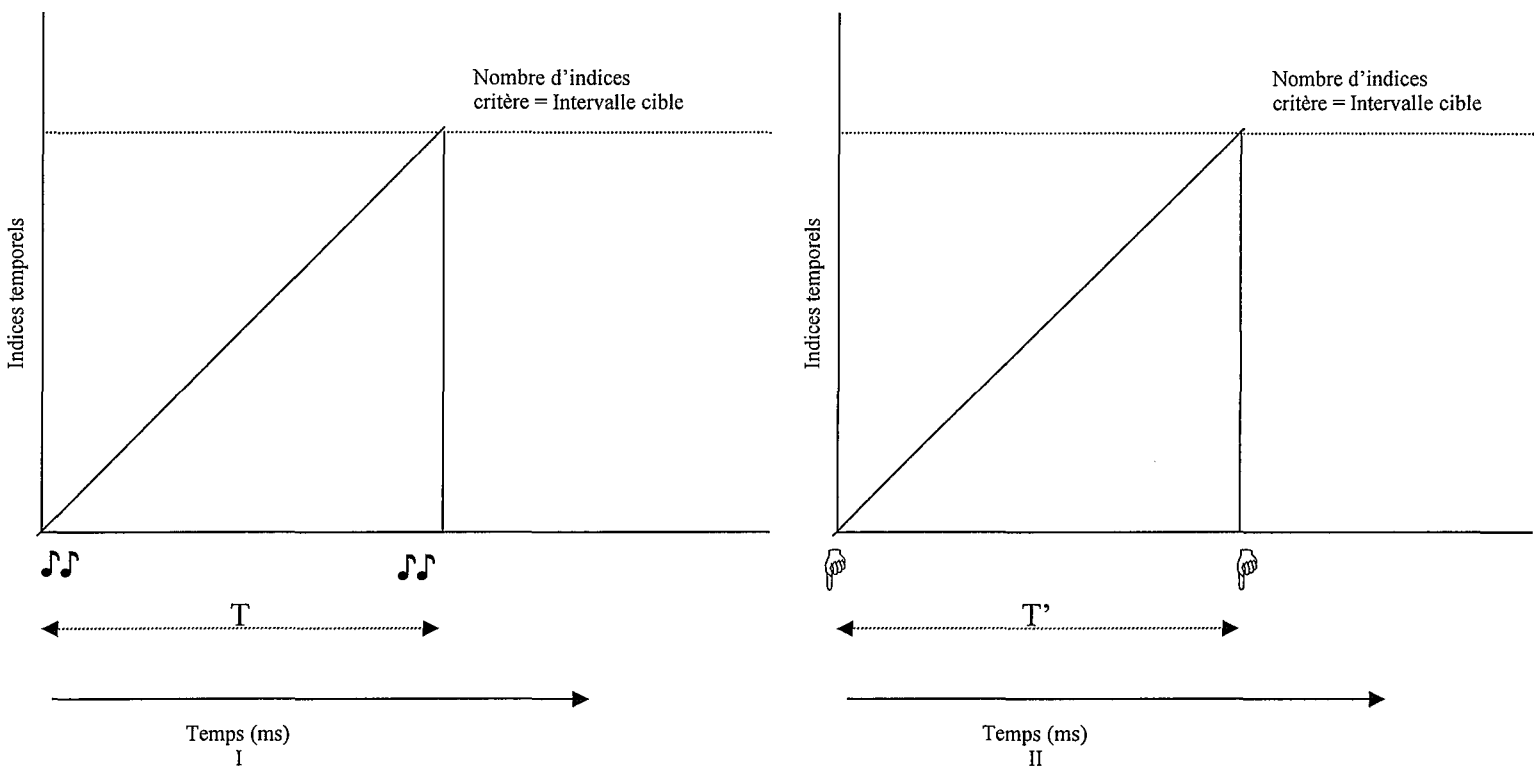


Figure 3a

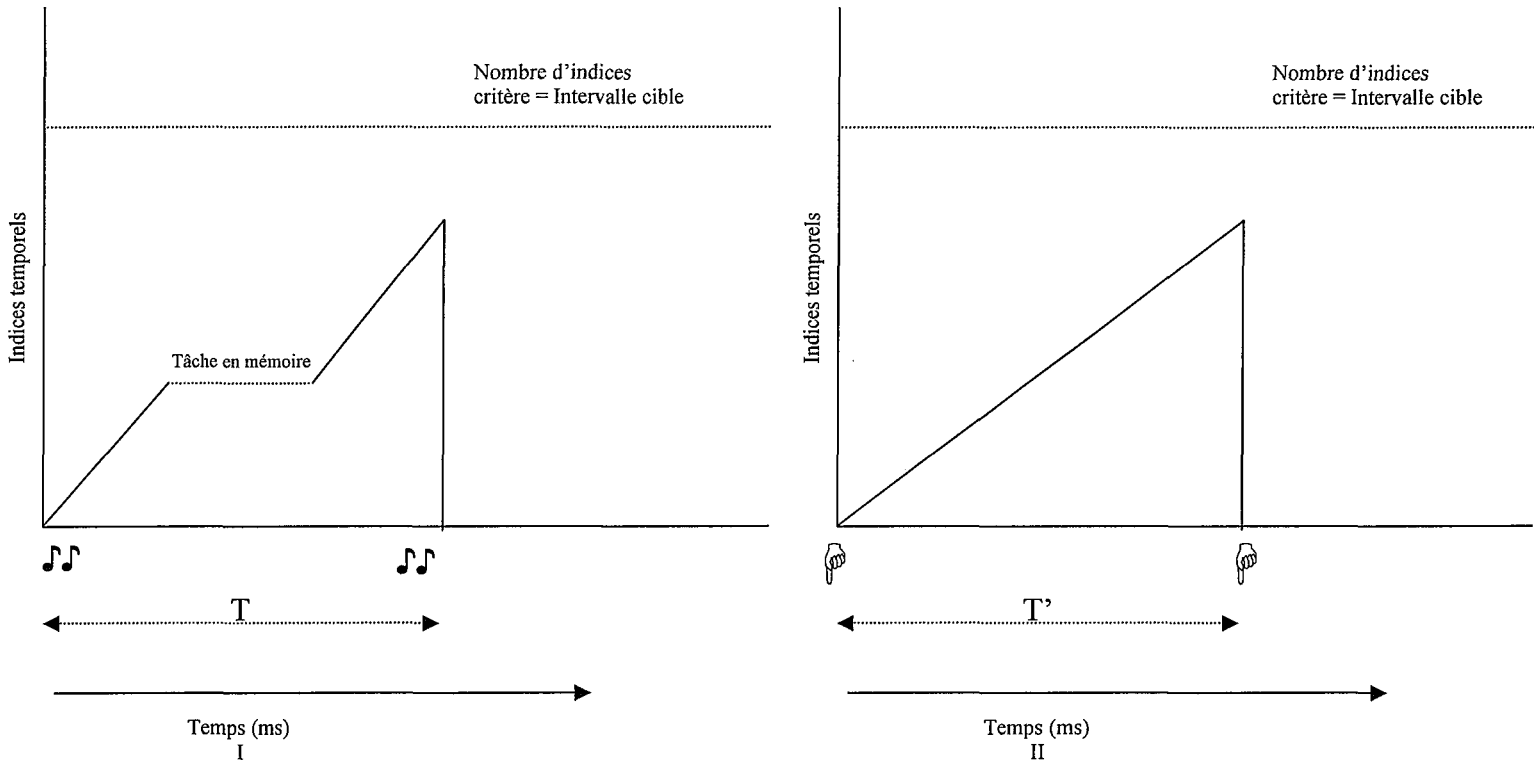


Figure 3b

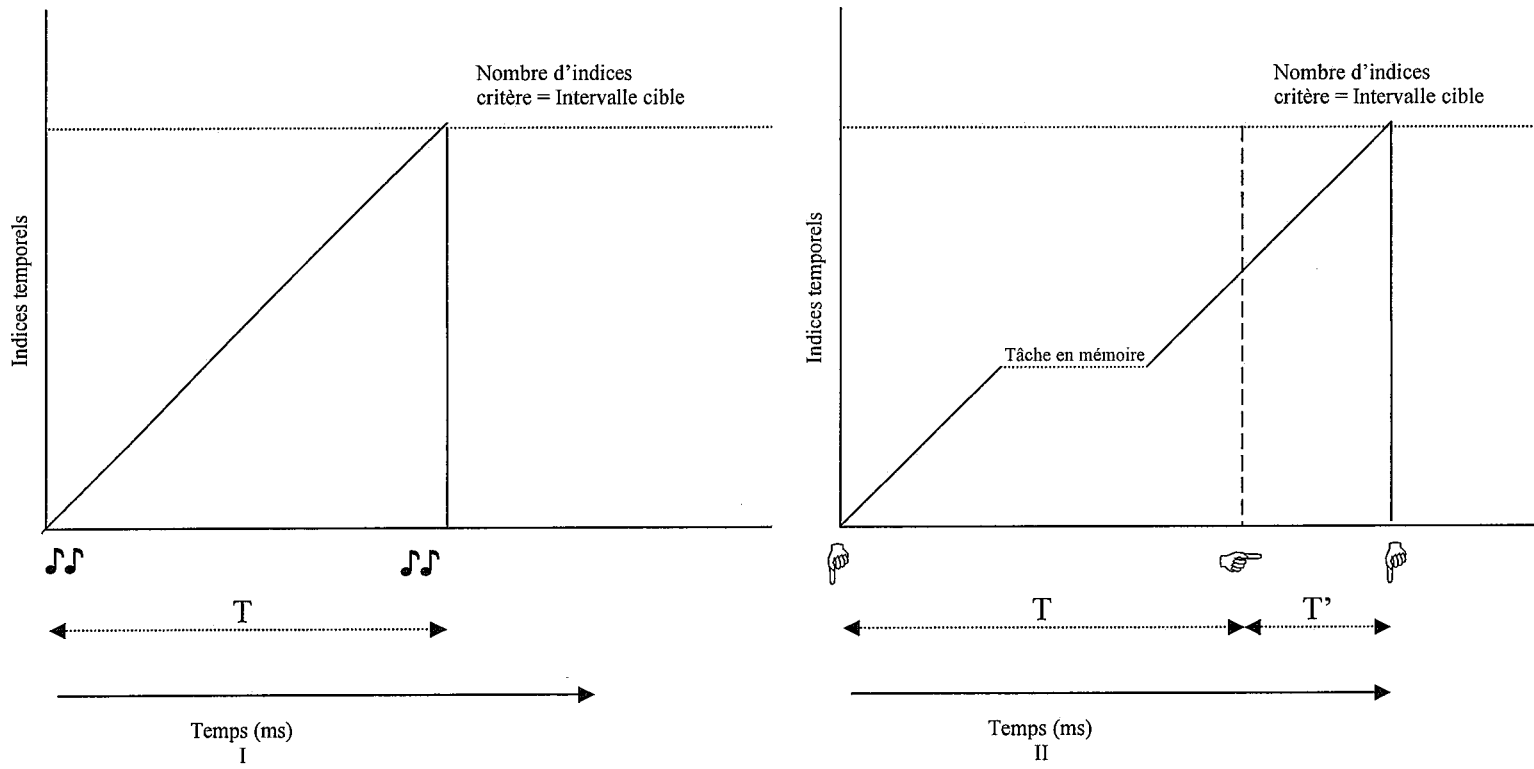


Figure 3c

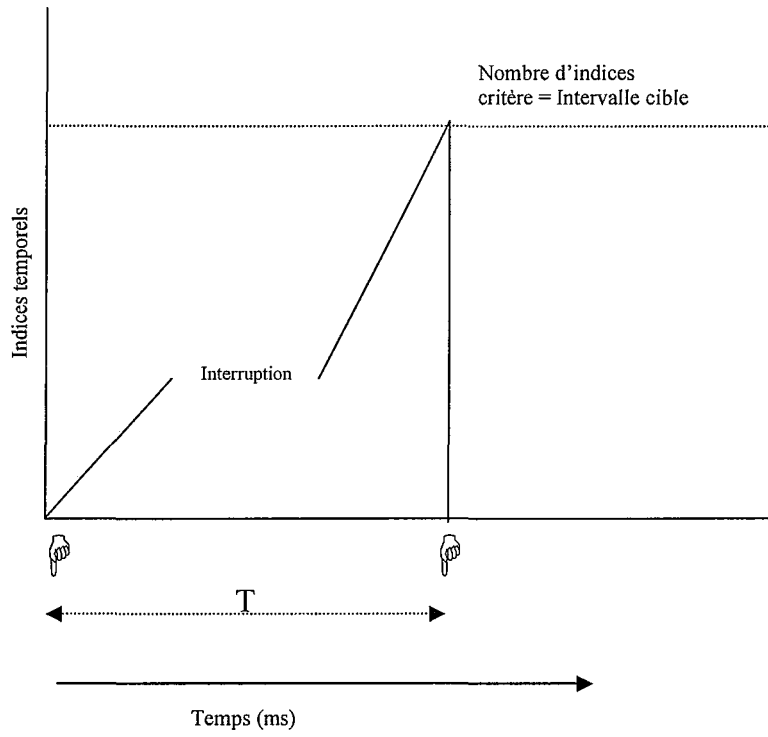
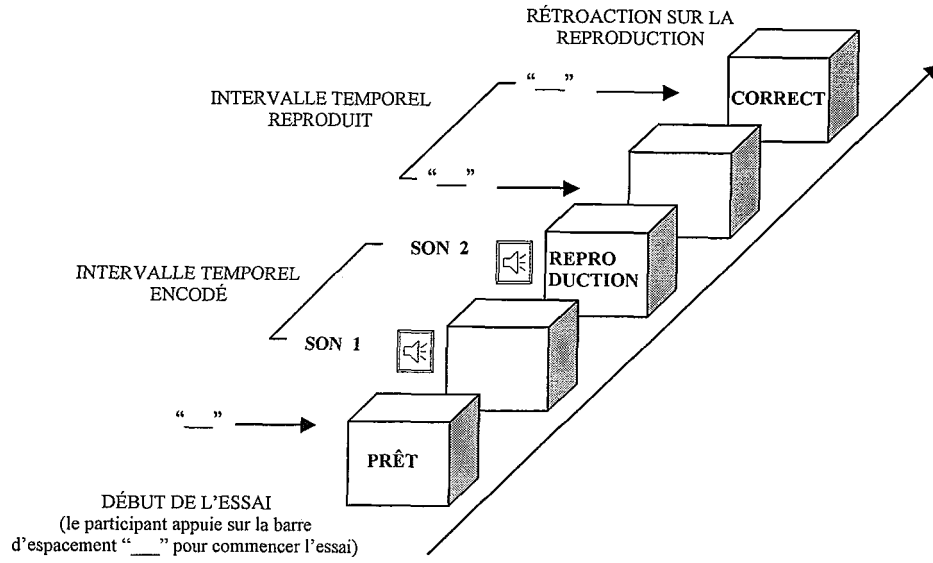


Figure 4

Session 1: Reproduction d'intervalles temporels



Session 2: Traitement d'information d'item en mémoire

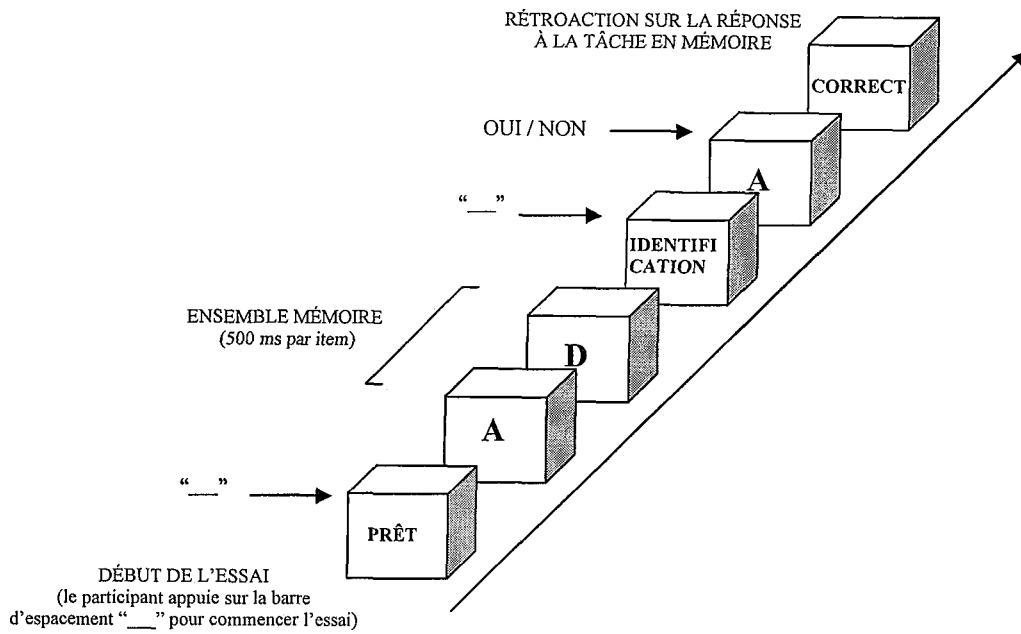
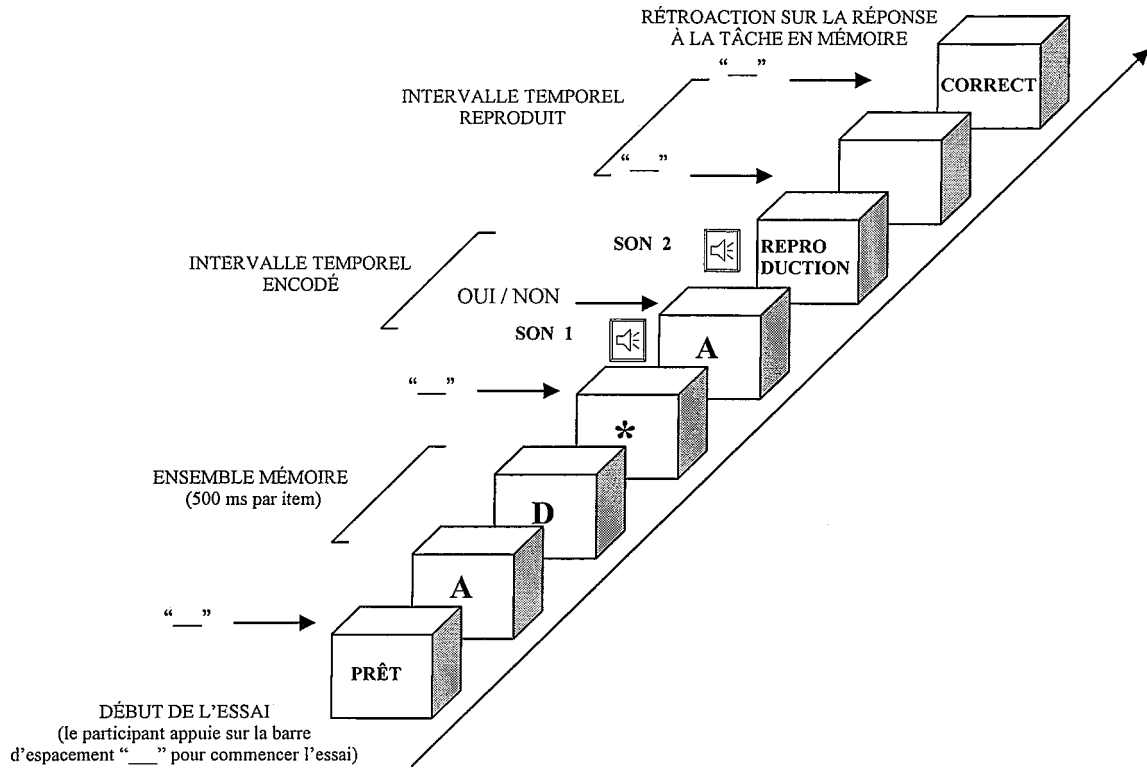


Figure 5a

Session 3: Récupération en Mémoire pendant Encodage Temporel: RM / ET



Session 4: Récupération en Mémoire pendant Récupération Temporelle: RM / RT

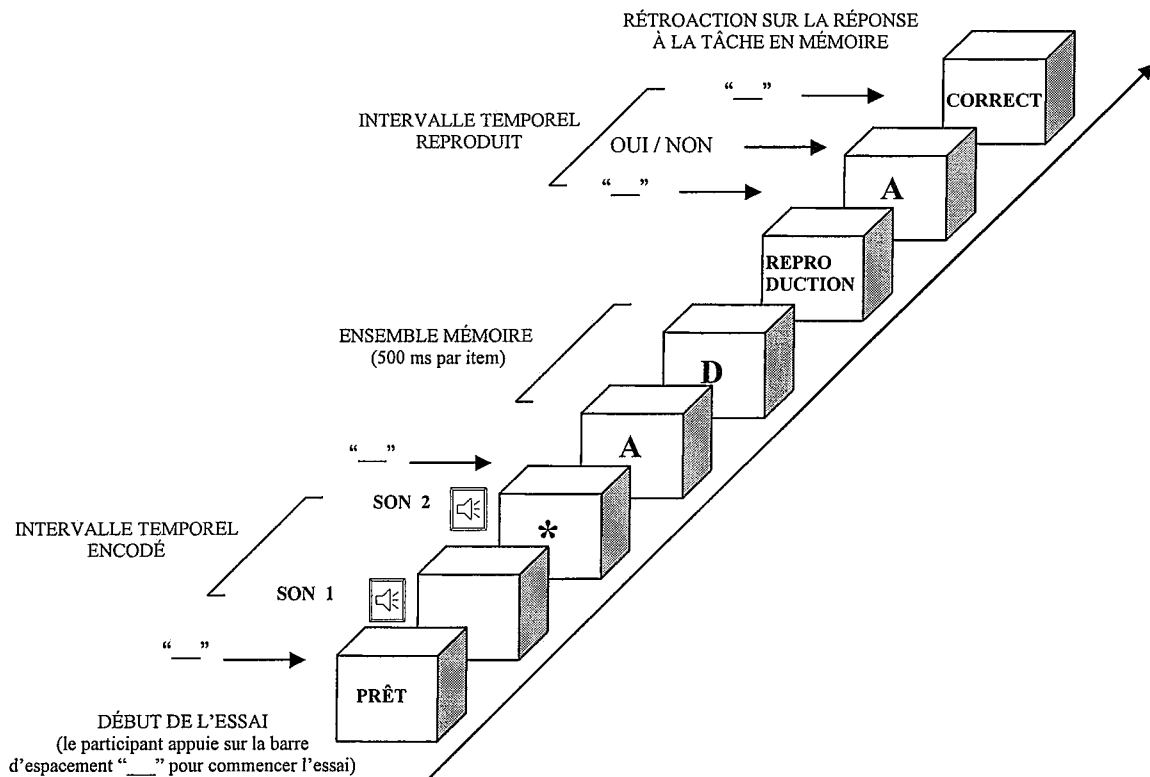
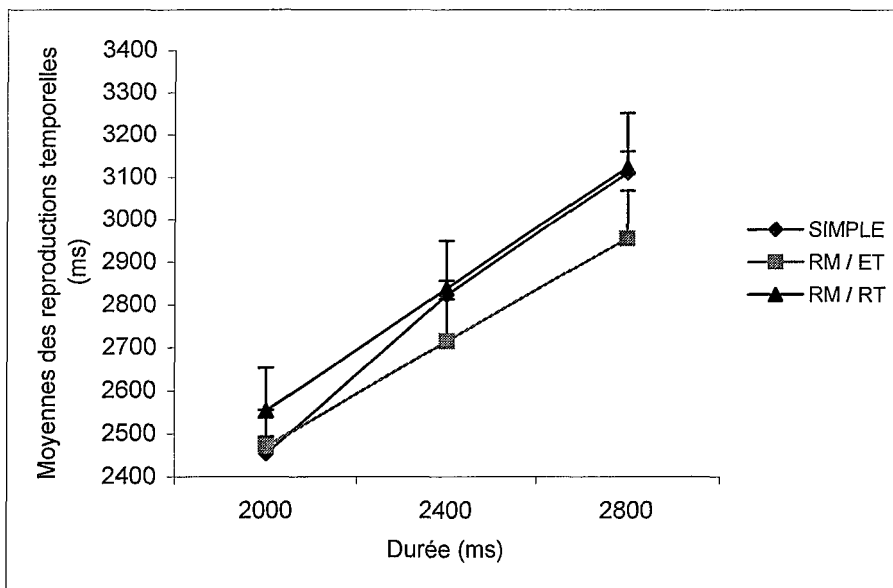
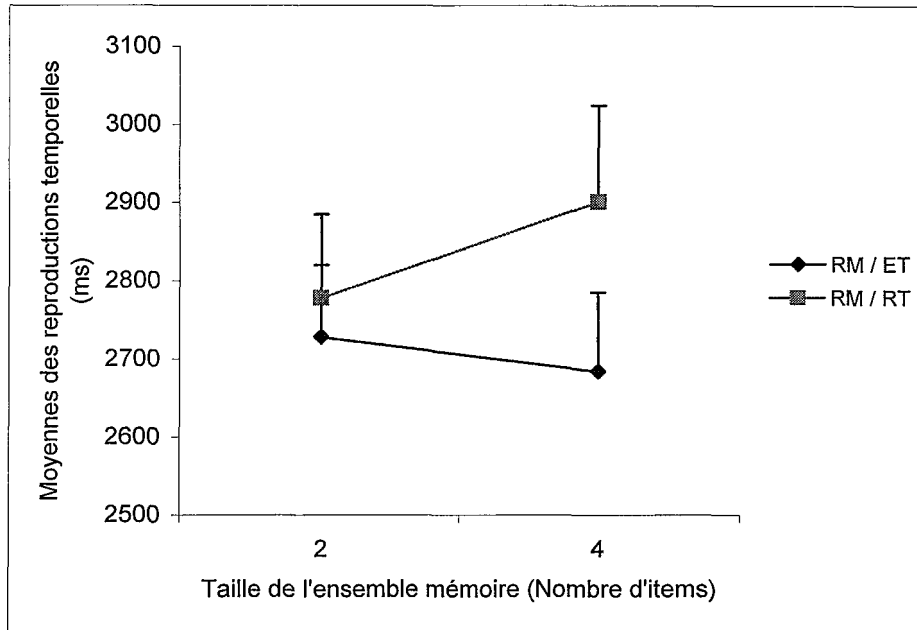
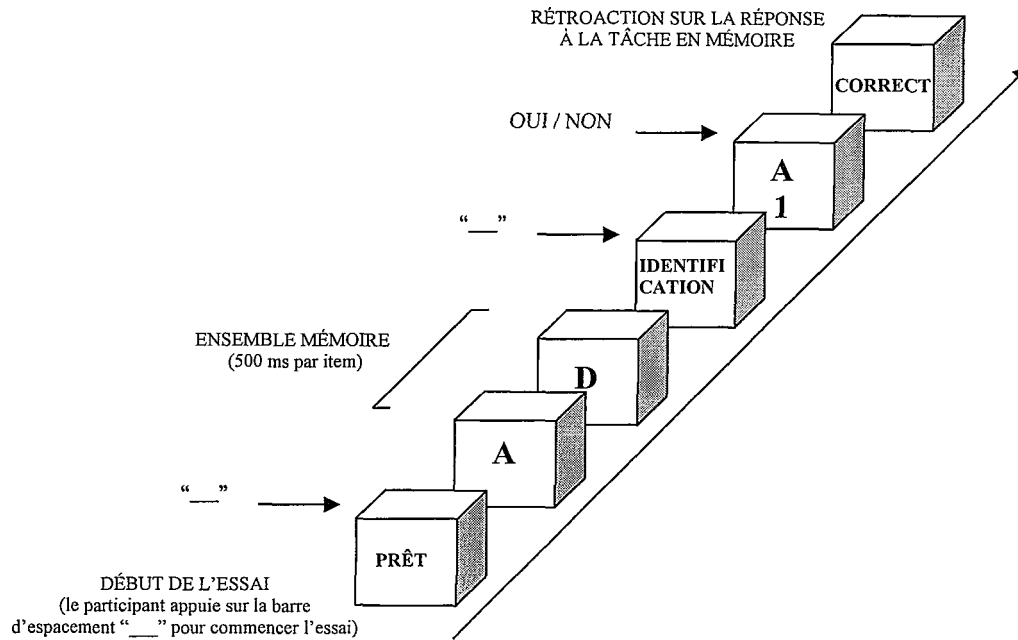


Figure 5b



Figures 6 et 7

Bloc 1: Traitement d'information d'ordre temporel en mémoire



Bloc 2: Reproduction d'intervalles temporels

RÉTROACTION SUR LA REPRODUCTION

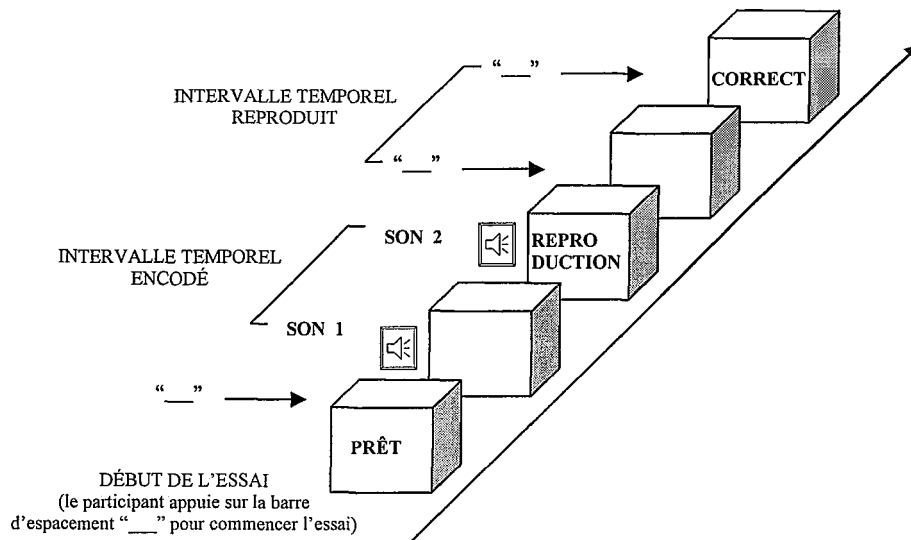
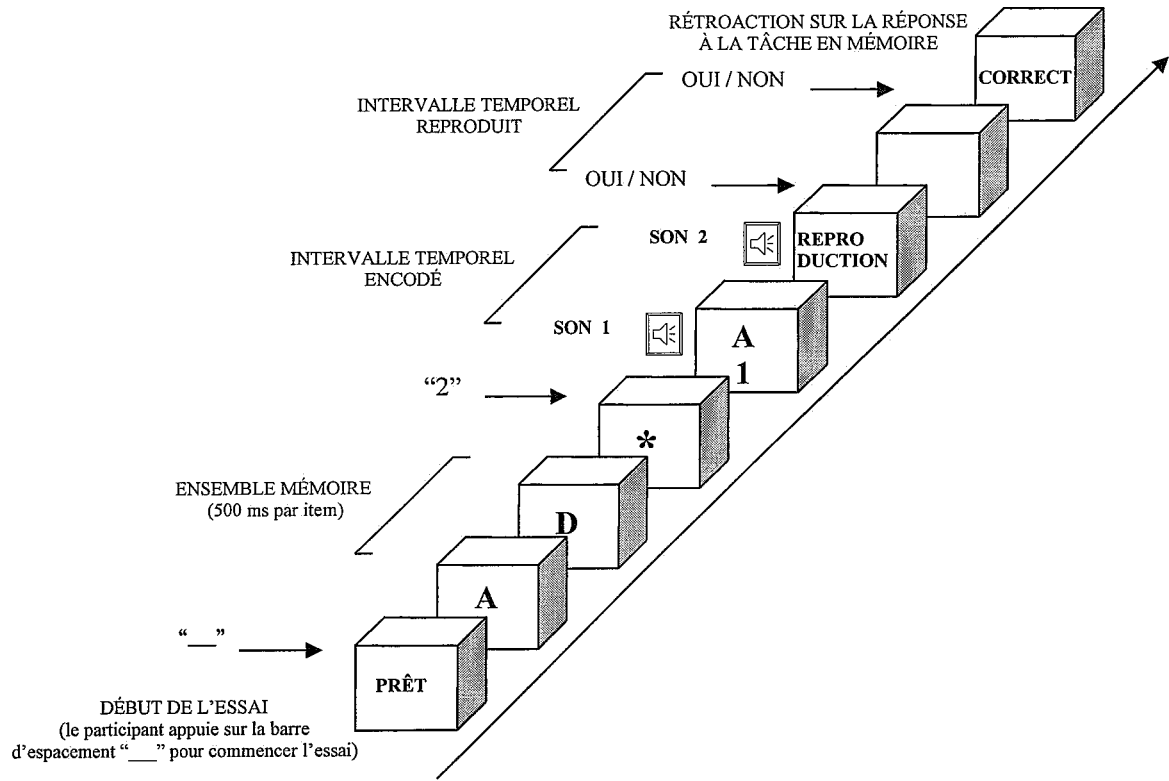


Figure 8a

Bloc 3: Récupération en Mémoire pendant Encodage Temporel: RM / ET



Bloc 4: Récupération en Mémoire pendant Récupération Temporelle: RM / RT

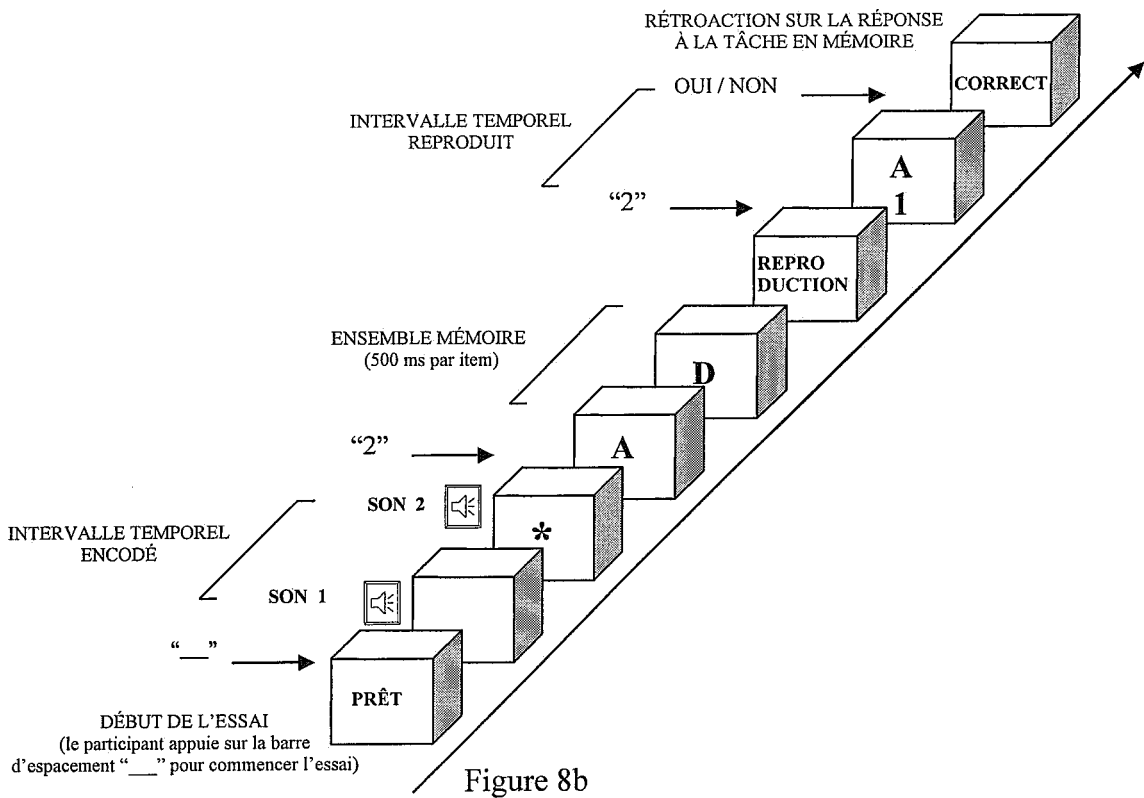
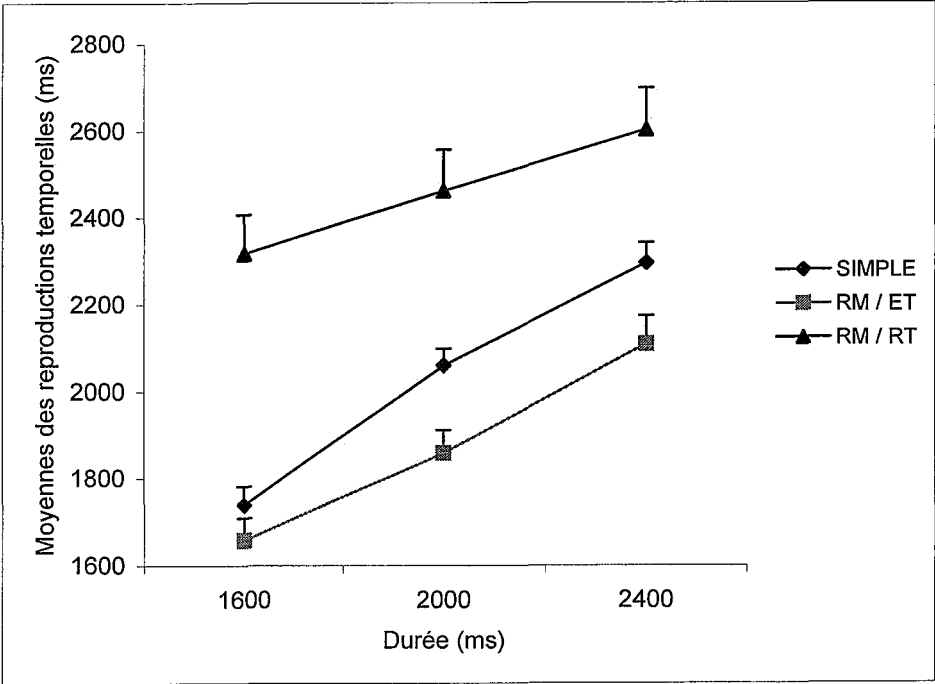
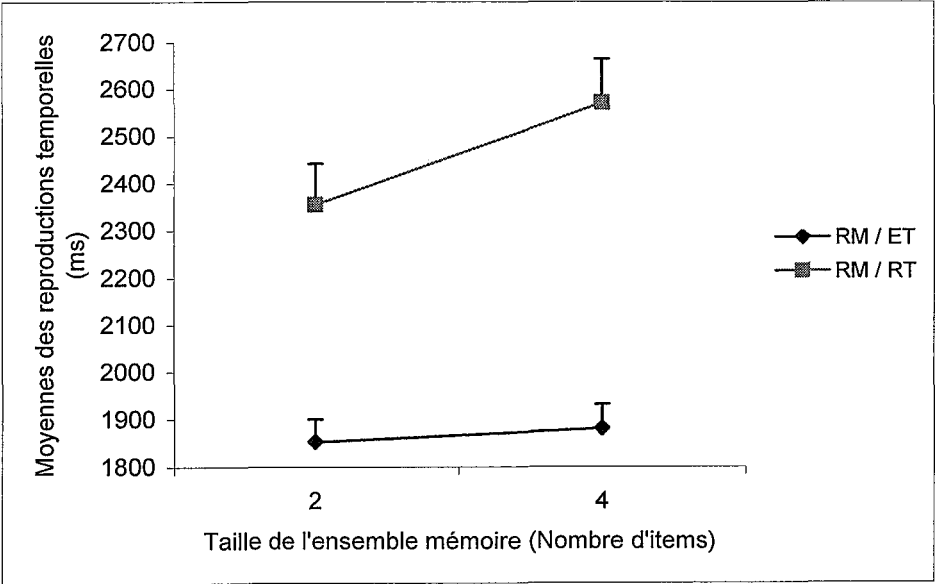
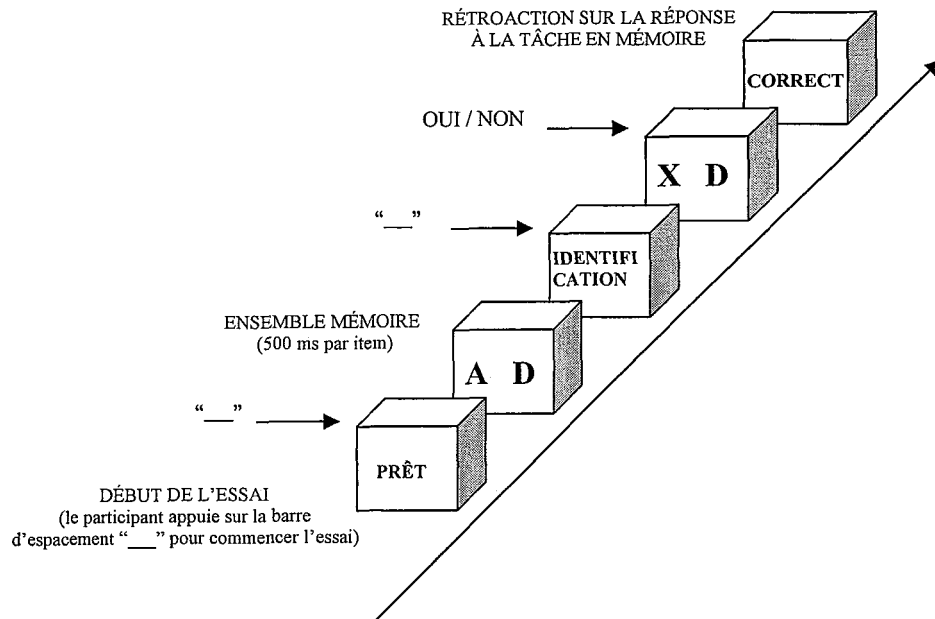


Figure 8b



Figures 9 et 10

Bloc 1: Traitement d'information d'ordre spatial en mémoire



Bloc 2: Reproduction d'intervalles temporels

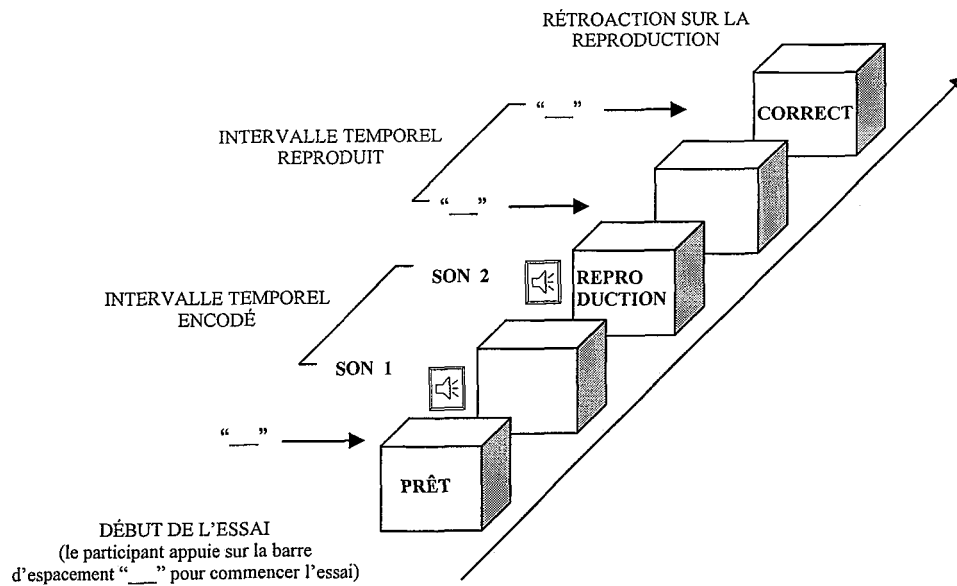
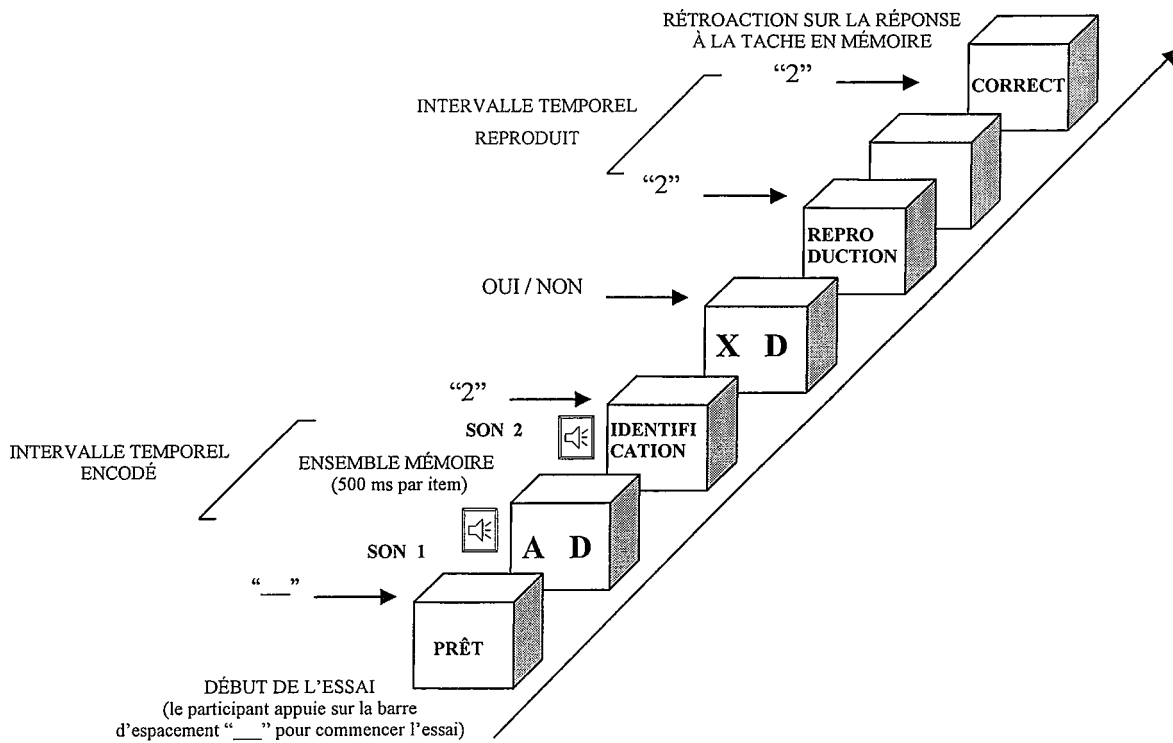


Figure 11a

Bloc 3: Encodage en Mémoire pendant Encodage temporel : EM / ET



Bloc 4: Encodage en Mémoire pendant Reproduction temporelle : EM / RT

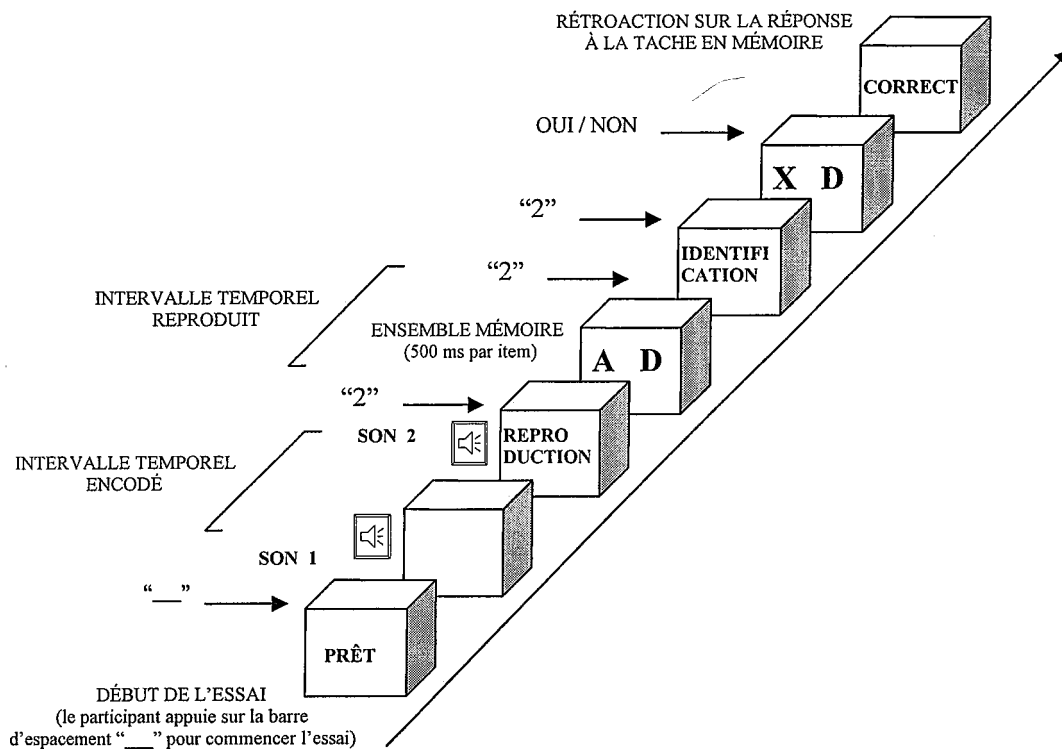
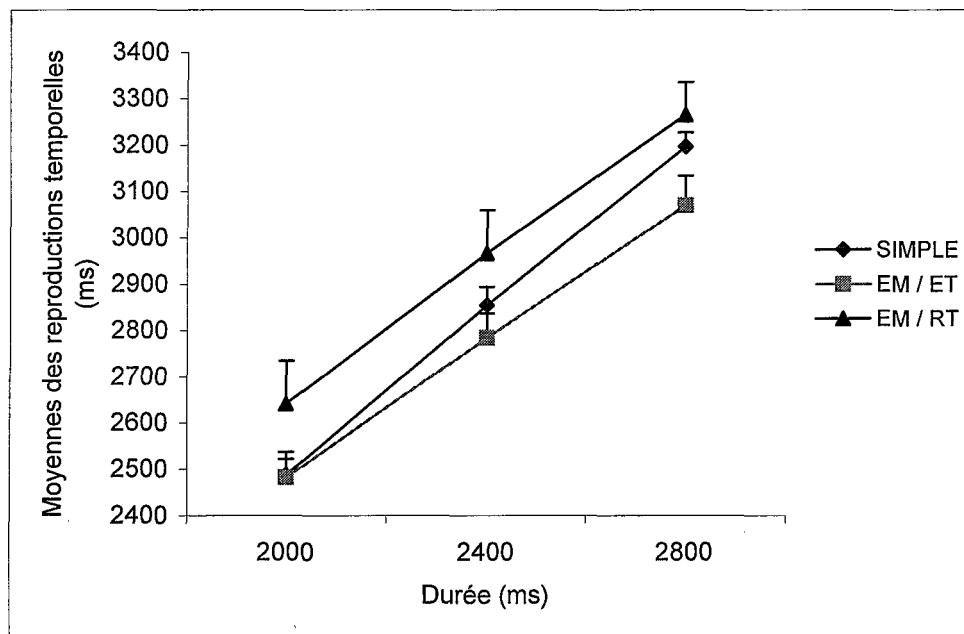
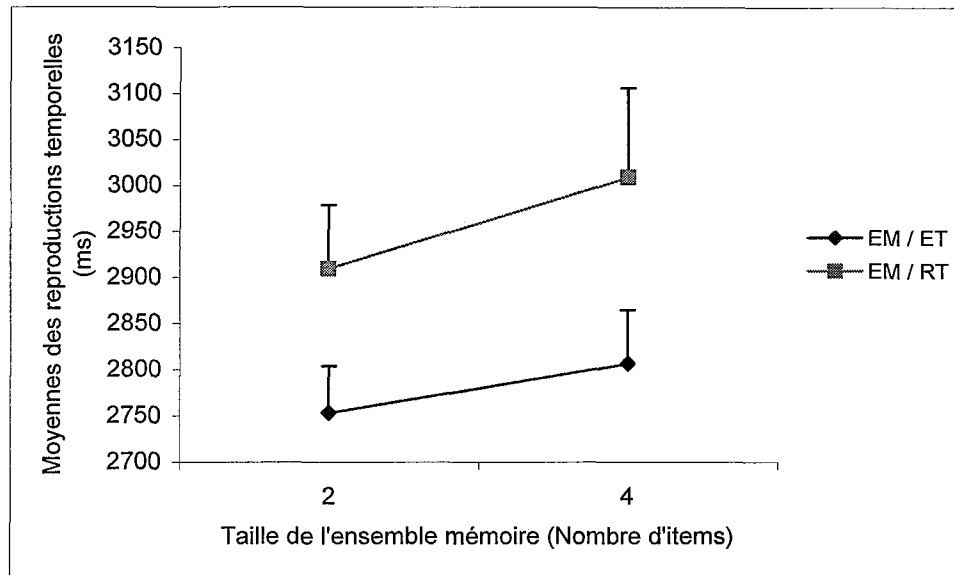
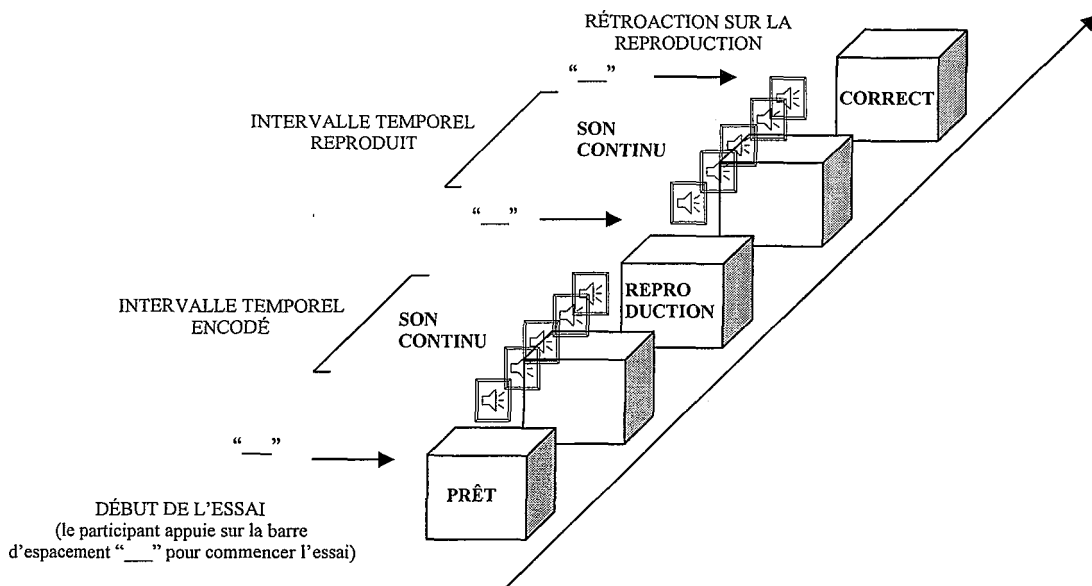


Figure 11b

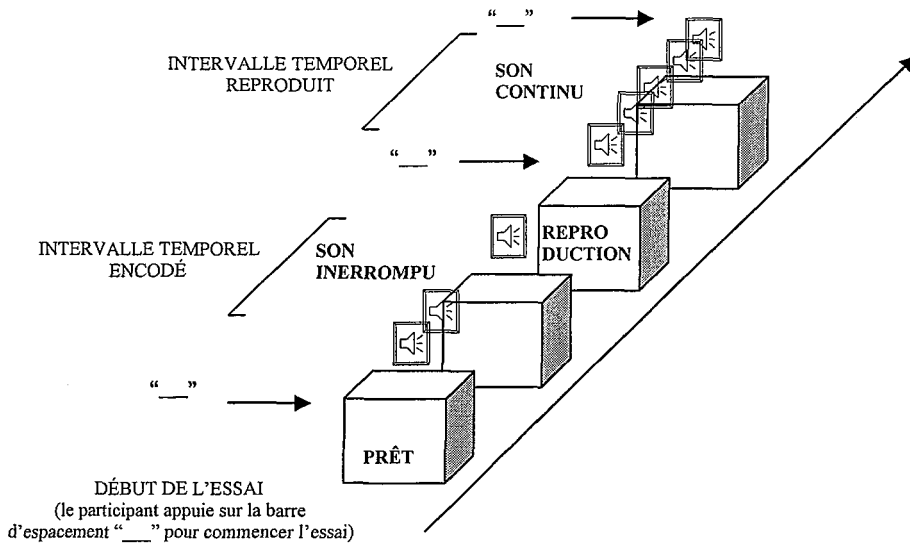


Figures 12 et 13

Session 1: Reproduction d'intervalles temporels



Session 2: Interruption pendant Encodage Temporel: I / ET



Session 3: Interruption pendant Reproduction Temporelle: I / RT

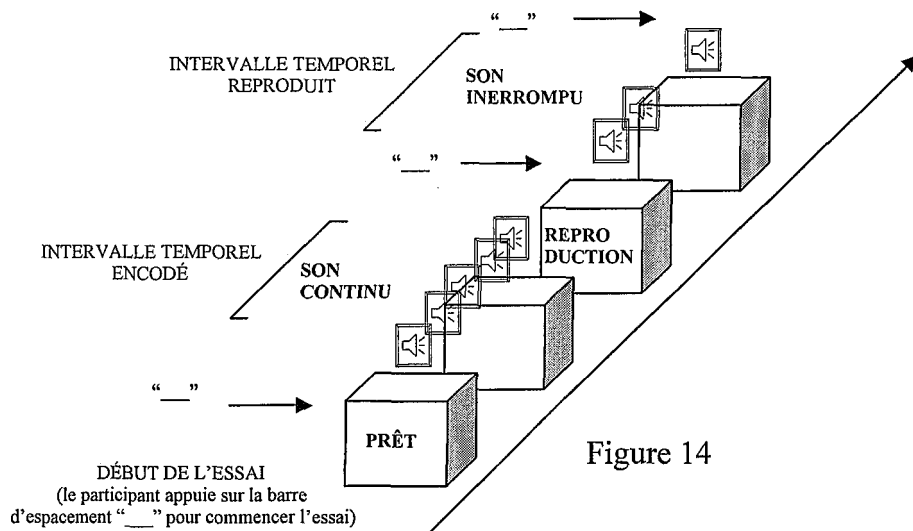
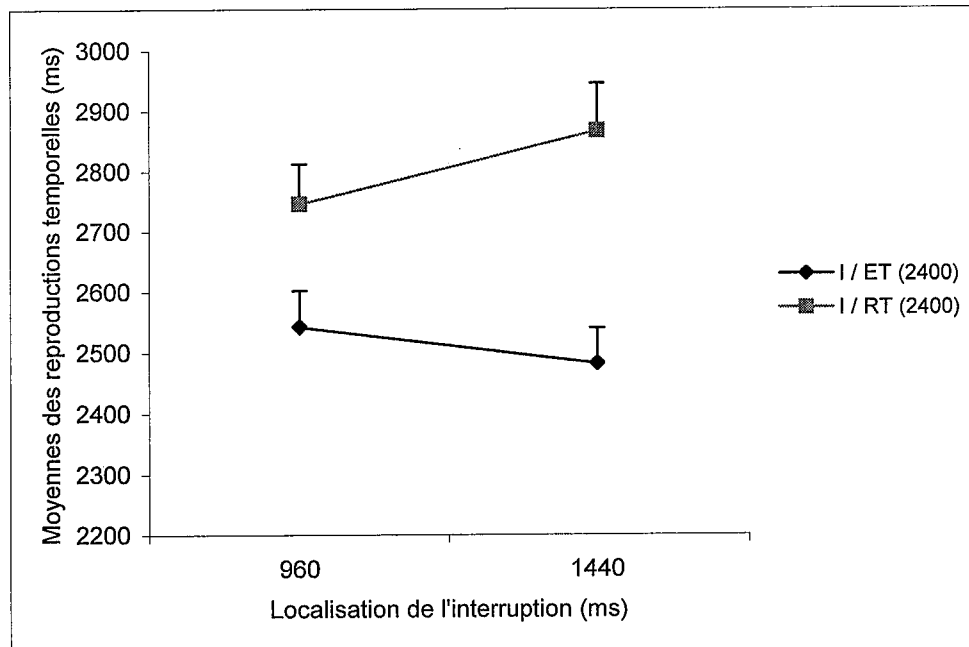
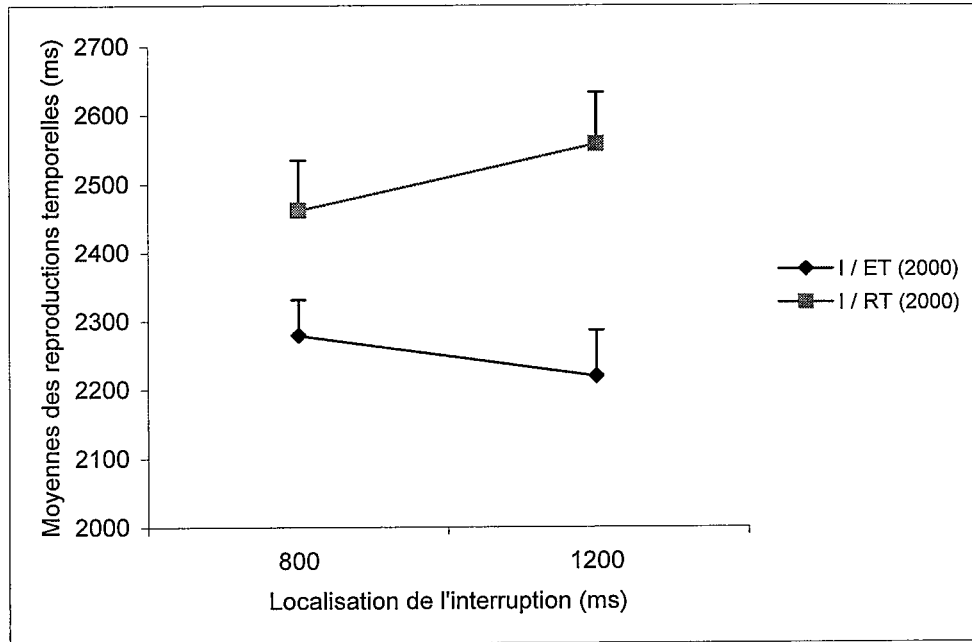
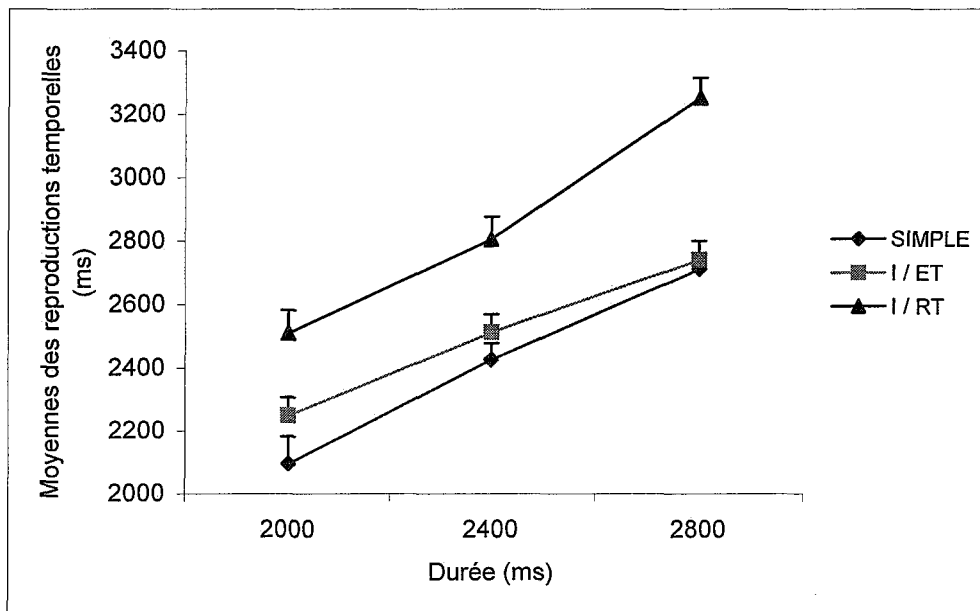
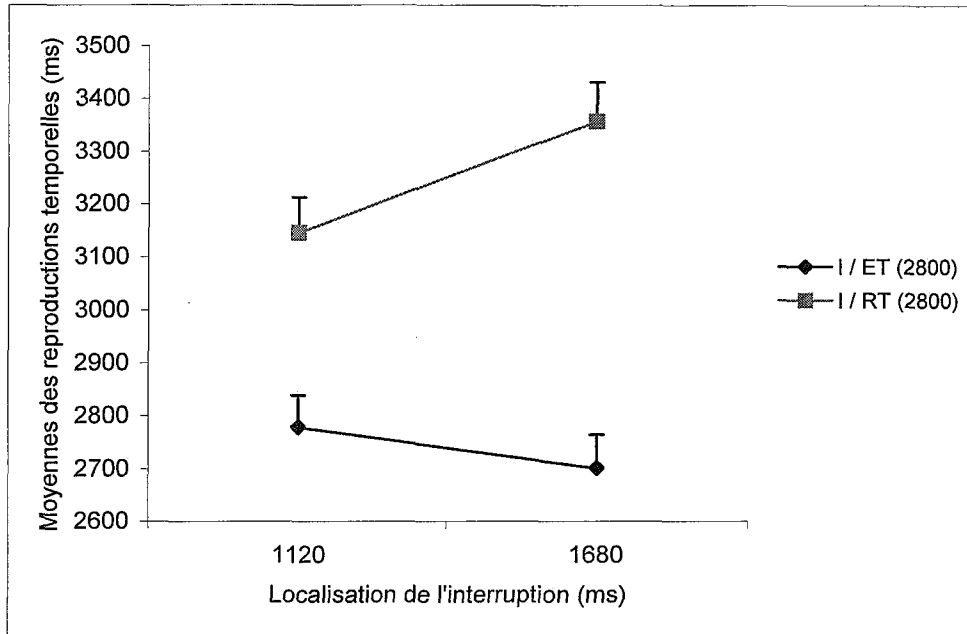


Figure 14



Figures 15 et 16



Figures 17 et 18

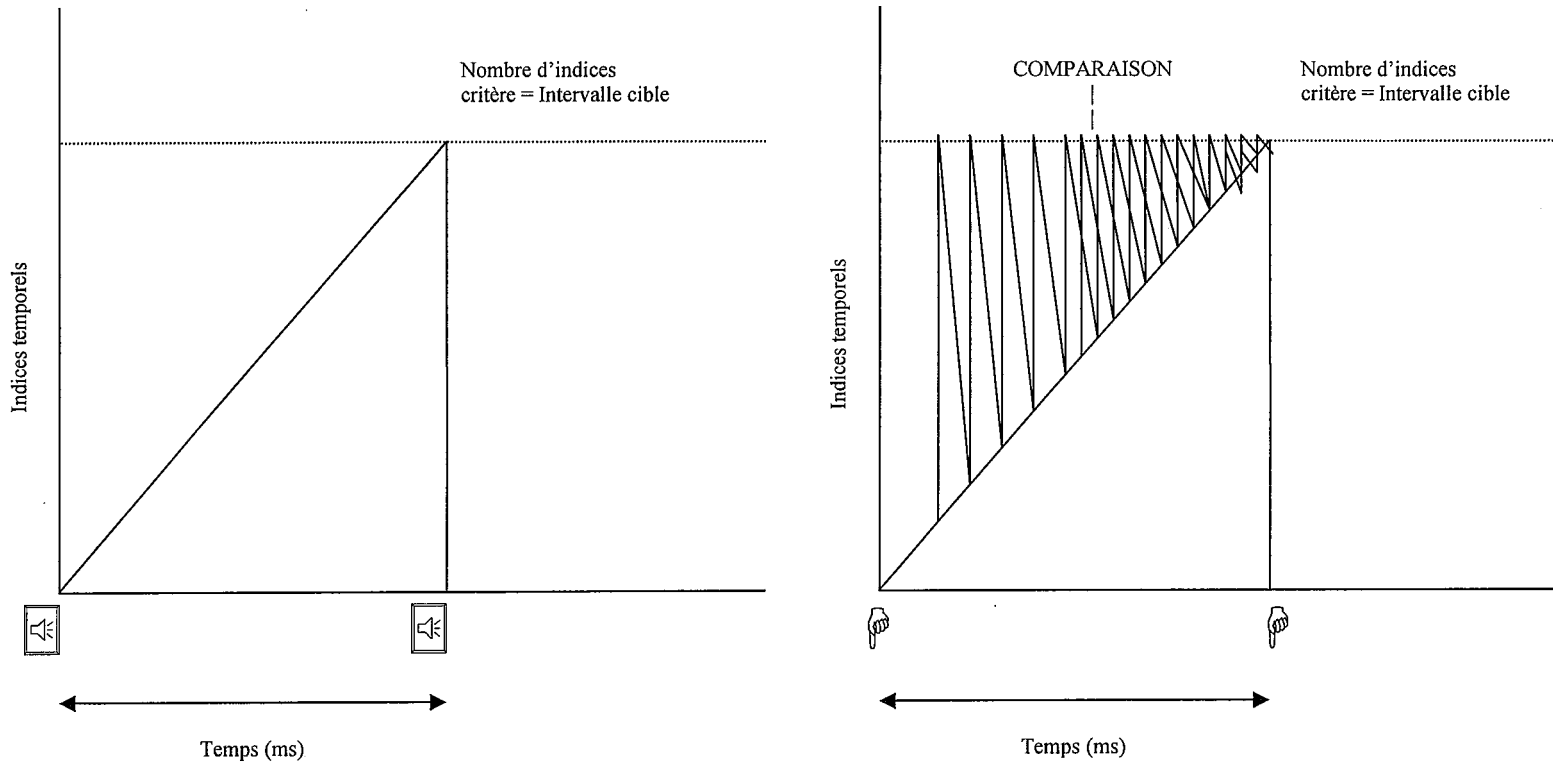


Figure 19

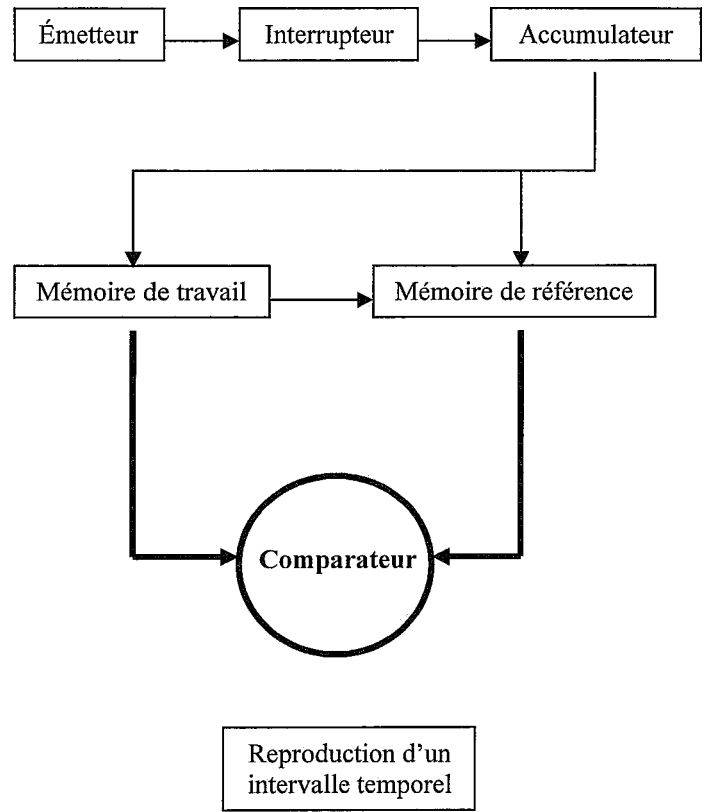
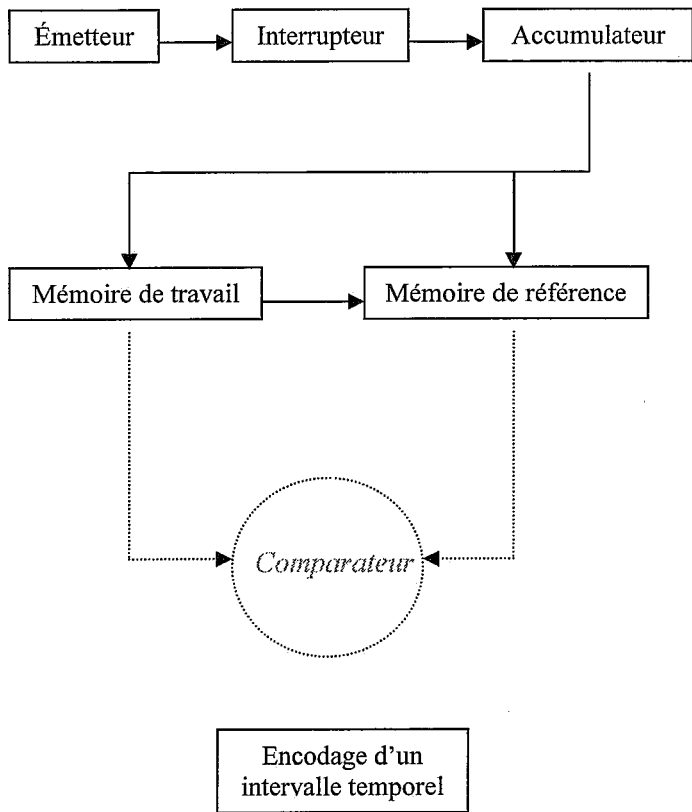


Figure 20

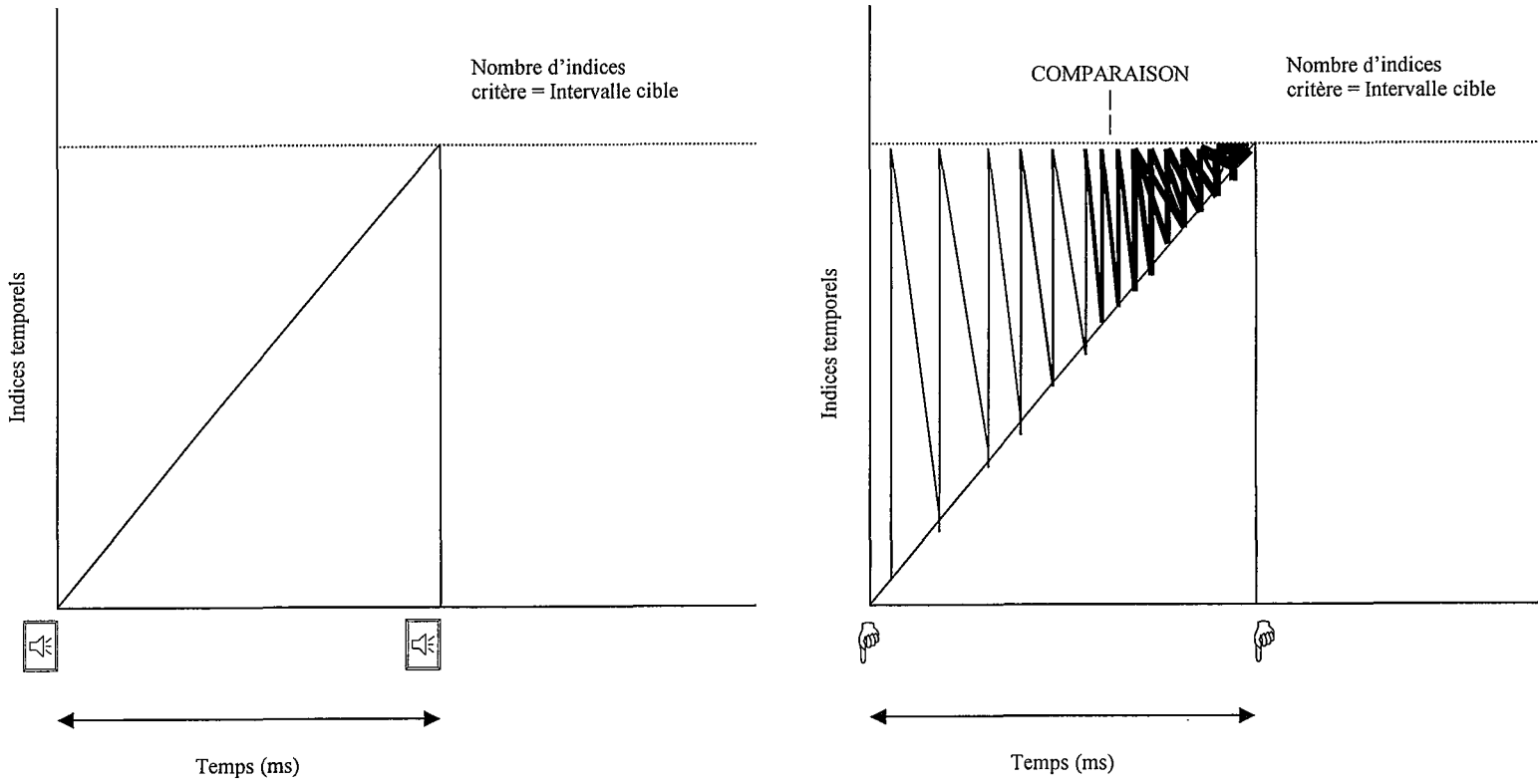


Figure 21