



# **Discrimination temporelle : la présentation d'intervalles multiples réduit-elle l'effet d'intermodalité?**

**Mémoire**

**Guillaume Plante**

**Maîtrise en psychologie avec mémoire**

Maître ès arts (M.A.)

Québec, Canada

© Guillaume Plante, 2017

**Discrimination temporelle : la présentation d'intervalles multiples réduit-elle l'effet d'intermodalité?**

**Mémoire**

**Guillaume Plante**

Sous la direction de :

Simon Grondin, directeur de recherche

## Résumé

Lorsque des intervalles de temps vides délimités par des marqueurs de modalités différentes (intermodalité) sont comparés, la capacité de les discriminer diminue. Cependant, lorsque ces mêmes intervalles de temps doivent être comparés et qu'ils sont délimités par des marqueurs de même modalité (intramodalité), le fait de les présenter plusieurs fois augmente la capacité de les discriminer. Le but de cette étude est de vérifier si la présentation de plusieurs intervalles intramodaux annule la diminution de la capacité de discrimination normalement observée en condition intermodale. Pour ce faire, 20 participants ont effectué une tâche de discrimination d'intervalles à l'aide de la méthode des stimuli constants. Dans cette tâche, il y avait deux intervalles standards (400 ms et 800 ms) et ils étaient toujours délimités par des marqueurs auditifs ou des marqueurs visuels. De plus, les standards pouvaient être présentés 1, 2 ou 3 fois par essai. Quant aux intervalles de comparaison, ils duraient de 275 à 525 ms ou 550 à 1050 ms et les marqueurs qui les délimitaient étaient auditif-auditif (AA), auditif-visuel (AV), visuel-visuel (VV) ou visuel-auditif (VA). Les données de 10 participants sont analysées. Les résultats montrent que présenter plusieurs fois le standard n'améliore pas la capacité de discrimination et ce, même en intramodalité. De plus, la capacité de discrimination est inférieure en intermodalité. Cependant, cette différence entre la condition intramodale et la condition intermodale diminue lorsque le standard est de 800 ms. Pour la durée perçue, les durées en AV sont perçues comme plus longues que les durées en AA et les durées en VV sont perçues comme plus longues que les durées en VA. Aussi, lorsque le standard est présenté deux fois et que ces marqueurs sont visuels, le comparateur est plus sous-estimé que lorsque le standard est présenté une ou trois fois.

## Table des matières

<b>Résumé</b> .....	<b>iii</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>v</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>vi</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>viii</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Théorie « interval-based » vs Théorie « beat-based »</b> .....	<b>1</b>
<b>Sources d’erreur</b> .....	<b>2</b>
Modalité. ....	3
Intermodalité. ....	3
Structure séquentielle. ....	7
<b>But de l’étude</b> .....	<b>12</b>
Capacité de discrimination. ....	12
Durée perçue. ....	12
<b>Méthode</b> .....	<b>14</b>
<b>Participants</b> .....	<b>14</b>
<b>Matériel</b> .....	<b>14</b>
<b>Procédure</b> .....	<b>14</b>
<b>Analyses</b> .....	<b>15</b>
<b>Résultats</b> .....	<b>17</b>
<b>Capacité de discrimination</b> .....	<b>17</b>
<b>Durée perçue</b> .....	<b>18</b>
<b>Discussion</b> .....	<b>20</b>
<b>Capacité de discrimination</b> .....	<b>20</b>
<b>Durée perçue</b> .....	<b>22</b>
<b>Limites et études futures</b> .....	<b>24</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe A</b> .....	<b>29</b>
<b>Annexe B</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe C</b> .....	<b>33</b>
<b>Annexe D</b> .....	<b>37</b>
<b>Annexe E</b> .....	<b>39</b>
<b>Annexe F</b> .....	<b>41</b>
<b>Annexe G</b> .....	<b>46</b>

### **Liste des tableaux**

Tableau 1. Moyenne et écart-type de la fraction de Weber lorsque le standard est en auditif .....	42
Tableau 2. Moyenne et écart-type de la fraction de Weber lorsque le standard est en visuel .....	43
Tableau 3. Moyenne et écart-type de l'erreur relative lorsque le standard est en auditif	44
Tableau 4. Moyenne et écart-type de l'erreur relative lorsque le standard est en visuel.	45

## Liste des figures

Figure 1. Différence entre les fractions de Weber des conditions AA et AV en fonction du nombre de standards présentés et de la durée du standard. ....	47
Figure 2. Différence entre les fractions de Weber des conditions VV et VA selon le nombre de standards présenté et la durée du standard. ....	48
Figure 3. Différence entre les erreurs relatives des conditions AA et AV selon le nombre de standards présenté et la durée du standard. ....	49
Figure 4. Différence entre les erreurs relatives des conditions VV et VA selon le nombre de standards présenté et la durée du standard. ....	50
Figure 5. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois. ....	51
Figure 6. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois. ....	51
Figure 7. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois. ....	51
Figure 8. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois. ....	51
Figure 9. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois. ....	52
Figure 10. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois. ....	52
Figure 11. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois. ....	52
Figure 12. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois. ....	52
Figure 13. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois. ....	53
Figure 14. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois. ....	53
Figure 15. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois. ....	53

Figure 16. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois. ....	53
Figure 17. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois. ....	54
Figure 18. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois. ....	54
Figure 19. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois. ....	54
Figure 20. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois. ....	54
Figure 21. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois. ....	55
Figure 22. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois. ....	55
Figure 23. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois. ....	55
Figure 24. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois. ....	55
Figure 25. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois. ....	56
Figure 26. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois. ....	56
Figure 27. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois. ....	56
Figure 28. Moyenne des pourcentages de réponse « plus longue » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois. ....	56

## Liste des abréviations

AA : Auditif-auditif

AV : Auditif-visuel

VA : Visuel-auditif

VV : Visuel-visuel

PES : Point d'égalité subjective

M : Moyenne

É.T. : Écart-Type

$p$  : Probabilité

$e^2_p$  : Éta carré partiel

ms : Milliseconde

s : Seconde

$R^2$  : Coefficient de corrélation au carré



## **Introduction**

L'être humain a la capacité de percevoir le temps qui passe. Cette capacité lui permet d'accomplir plusieurs tâches de sa vie quotidienne. Par exemple, elle lui permet d'apprécier une pièce musicale ou d'estimer le temps qui lui sera nécessaire pour accomplir un travail. La perception joue aussi un rôle central dans le langage. Elle permet de suivre une conversation et de mettre l'accent sur certains éléments en faisant de brèves pauses. Cependant, l'estimation du temps n'est pas toujours exacte. Les gens ont tendance à sous-estimer le temps nécessaire pour faire une tâche. Aussi, le temps semble passer plus rapidement lorsque l'activité en cours est plaisante. À l'inverse, une activité qui ne capte pas l'attention semblera plus longue qu'elle ne l'est réellement. Afin d'expliquer cette capacité de percevoir le temps et les erreurs qui lui sont reliées, plusieurs auteurs ont créé des modèles théoriques. Deux courants théoriques seront abordés dans cette introduction. Par la suite, plusieurs erreurs connues seront présentées et expliquées à l'aide de ces modèles.

### **Théorie « interval-based » vs Théorie « beat-based »**

La théorie du premier courant abordé s'appelle « interval-based ». Cette théorie part de la prémisse que l'être humain estime le temps à partir d'intervalles de temps. Plusieurs modèles de ce courant supposent aussi que l'être humain possède une horloge interne. Cette horloge est décrite selon le modèle de type « émetteur-accumulateur ». Dans ce modèle, l'horloge interne comprend différentes parties, dont un émetteur qui émet des pulsations emmagasinées par un accumulateur. Entre ces deux parties, un interrupteur sous le contrôle de l'attention détermine l'arrivée des pulsations dans l'accumulateur. Plus il y a de pulsations dans l'accumulateur au terme d'une période donnée, plus celle-ci semble avoir été longue.

En se basant sur ce modèle et des observations temporelles sur les animaux, Gibbon, Church et Meck (1984) ont développé un autre modèle plus complet nommé théorie du temps scalaire. Dans sa version de type traitement de l'information, ce modèle ajoute des niveaux à l'horloge interne afin de prendre en considération le fait que celle-ci n'est probablement pas la seule source de variabilité qui mène à des erreurs de chronométrage. Ainsi, ils ont ajouté la mémoire de travail dans laquelle la durée de comparaison est emmagasinée. Selon certaines versions de cette théorie, il y aurait aussi une mémoire de référence. Elle contient la durée servant de référence lorsque la durée

emmagasinée en mémoire de travail doit faire l'objet d'une comparaison. Finalement, ils ont ajouté une composante décisionnelle. C'est à ce niveau que se prennent les décisions quant à la similitude des durées comparées (voir annexe A).

Malgré la popularité des théories basées sur une horloge, un second courant fut créé pour permettre d'expliquer des résultats obtenus en séquence temporelle. Les théories de ce courant se nomment « beat-based ». Contrairement aux théories « interval-based », les théories « beat-based » soutiennent que la perception du temps est expliquée, dans certaines conditions, par la création d'un battement interne à la suite d'une série d'évènements périodiques. Ce battement persisterait dans le temps lorsque les évènements initiaux ont disparu. La perception qu'un intervalle de temps est similaire ou non à un autre intervalle dépend de son synchronisme avec le battement interne (Keele, Nicoletti, Ivry, & Pokorny, 1989).

### **Sources d'erreur**

Tel que mentionné plus tôt, ces deux modèles ont été créés afin d'expliquer notre capacité à percevoir le temps. Par contre, notre capacité à percevoir le temps semble varier dans certaines situations spécifiques. Rakitin, Gibbon, Penney, Malapani, Hinton et Meck (1998) soutiennent que ces erreurs se divisent en deux types. Le premier type d'erreurs est d'origine temporelle. Il est dû directement au processus chargé de la perception temporelle. Quant au second, il est dû à des sources extérieures au processus d'estimation temporelle et donc spécifique à certaines situations. Ce type d'erreur porte le nom d'erreurs non temporelles.

Une source d'erreurs non temporelles bien connue est liée au type d'intervalle temporel présenté. Il existe deux catégories d'intervalles temporels. La première se caractérise par la présence d'un stimulus qui délimite à lui seul l'intervalle. Ce type d'intervalle se nomme intervalle plein. À l'opposé, il existe aussi des intervalles vides. Un intervalle est défini comme vide lorsque deux stimuli sont utilisés pour le présenter, un pour signaler le début de la durée et un autre pour marquer la fin de la durée.

Le type d'intervalle a un effet sur la durée perçue par un individu. En effet, plusieurs chercheurs ont déjà exploré ce phénomène et ont découvert qu'un intervalle plein est jugé comme plus long qu'un intervalle vide de la même durée (Craig, 1973; Goldfarb & Goldstone, 1963; Goldstone & Goldfarb, 1963). Selon Grondin (1993), ce biais peut être expliqué par le moment de détection des marqueurs. Ainsi, pour les

intervalles vides, la durée débuterait à partir du moment où la trace sensorielle du premier marqueur est disparue et se terminerait lorsque le second marqueur serait détecté. Pour les intervalles pleins, la représentation de la durée débuterait au commencement du marqueur et se terminerait lorsque la trace sensorielle du marqueur aurait disparu du système sensoriel.

### **Modalité.**

Un autre type d'erreur non temporelle peut être induit par les caractéristiques des marqueurs utilisés pour délimiter les intervalles temporels. L'une de ces caractéristiques est la modalité (auditive, visuelle ou tactile). En effet, plusieurs études ont montré que la modalité des marqueurs a un impact sur la perception de la durée. Par exemple, un intervalle marqué par des signaux auditifs est perçu comme plus long que cette même durée présentée par des marqueurs visuels (Grondin, 2003; Penney, Gibbon & Meck., 2000; Walker & Scott, 1981; Wearden, Edwards, Fakhri & Percival, 1998). La modalité des marqueurs a aussi un impact sur la capacité de discrimination. Il est plus facile de discriminer un intervalle délimité par des signaux auditifs que par des signaux visuels (Grondin, 2001b, 2005). Une façon d'expliquer ces observations est que certains signaux créent moins de variation dans la fréquence à laquelle l'émetteur envoie des pulsations (Allan, Kristofferson & Wiens, 1971; Divenyi & Danner, 1977; Grondin, 1993). Une faible variabilité dans la fréquence à laquelle l'émetteur envoie des pulsations permet une plus grande précision lors de l'estimation temporelle, ce qui améliore la capacité de discrimination. Puisque les signaux auditifs sont associés à une meilleure capacité de discrimination que les signaux visuels, ils créeraient moins de variabilité lorsqu'ils sont traités par l'horloge interne.

### **Intermodalité.**

Il est important de mentionner qu'il existe deux catégories d'intervalles lorsqu'il est question de l'effet des modalités sensorielles sur la discrimination d'intervalles vides. D'une part, il y a l'intramodalité qui se définit par la présence de deux marqueurs de la même modalité pour délimiter un intervalle de temps. D'autre part, il y a l'intermodalité qui se définit par l'utilisation de marqueurs de différentes modalités pour délimiter une durée.

### ***Durée perçue.***

Dans le cas de l'intermodalité, l'ordre de présentation des différentes modalités a une influence sur la durée perçue. Ainsi, un intervalle marqué par une séquence audio-visuelle sera perçu comme plus long que le même intervalle marqué par une séquence visuel-auditive ( Grondin, 1996; Grondin, Ivry, Franz, Perreault, & Metthé, 1996; Grondin & Rousseau, 1991). Aussi, pour des intervalles allant de 100 à 900 ms, lorsqu'un son sert de premier marqueur dans une séquence audio-visuelle (AV) ou audio-tactile (AT), la durée est perçue comme plus longue que lorsqu'un son sert de second marqueur (VA, TA). Par contre, il n'y a pas d'effet d'ordre temporel pour les signaux visuels ou tactiles (VT, TV) (Mayer, Di Luca & Ernst, 2014). Cet effet sur la durée perçue selon la modalité du marqueur peut être interprété en terme de latence sensorielle (Grondin, 1993; Grondin & al., 1996). Chaque modalité aurait une durée de traitement, une latence, qui lui est propre. Selon les observations présentées précédemment, les signaux auditifs auraient une latence plus courte que les signaux visuels et les signaux tactiles. Les intervalles AV et AT sont donc perçus comme plus longs que les intervalles VA et TA parce que le mécanisme central traite le premier marqueur plus vite et débute ainsi l'estimation du temps plus tôt. De plus, pour les intervalles AV et AT, le mécanisme central termine l'estimation plus tard que les intervalles VA et TA, car le deuxième marqueur prend plus de temps à être traité (Grondin & al., 1996; Hartcher-O'Brien, Di Luca & Ernst, 2014).

Pour des durées autour de 250 ms, les intervalles audio-tactiles sont perçus plus longs que les intervalles tactiles-tactiles et visuo-tactiles (Grondin, 1993). Encore une fois, ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les signaux livrés dans la modalité auditive sont perçus plus rapidement que ceux livrés dans la modalité visuelle et dans la modalité tactile. Ainsi, lorsqu'utilisés comme premier marqueur, les signaux auditifs permettraient de commencer le traitement temporel plus rapidement. Par contre, lorsque le deuxième marqueur est visuel, ce n'est pas la condition audio-visuelle qui est perçue comme plus longue, mais la condition tactile-visuelle. Ainsi, l'interprétation des résultats grâce à des effets additifs des distorsions temporelles selon la modalité est limitée lorsque les intervalles intramodaux et intermodaux sont mélangés (Grondin & Rousseau, 1991).

### ***Capacité de discrimination.***

En plus d'avoir un impact sur la durée perçue, l'ordre de présentation des marqueurs a un impact sur la capacité de discrimination. Cette capacité de discrimination peut être exprimée par la fraction de Weber. Cette fraction est obtenue en déterminant le seuil différentiel d'un individu et en le divisant par la magnitude du stimulus qui a été utilisé pour déterminer ce seuil. Une petite fraction de Weber indique une bonne capacité de discrimination. En audio-visuel et en visuo-auditif, la fraction de Weber est similaire (Mayer & al., 2014). Elle est à 30% à 100 ms et elle est un peu plus élevée que 20% à 900 ms. Ces résultats sont pratiquement les mêmes lorsque les modalités auditives et tactiles sont utilisées. Cependant, les performances sont légèrement meilleures lorsque le marqueur auditif est présenté en premier, surtout à 100 ms. Pour la combinaison des modalités visuelles et tactiles, la fraction de Weber varie entre 25 et 31%. Elle est cependant meilleure lorsque le premier marqueur est visuel, surtout à 100 ms (Mayer & al., 2014). Pour des durées de 250 ms à 1000 ms, les performances sont similaires entre VA et AV (Rousseau & al., 1983). Aussi, la capacité de discrimination est similaire entre AT et TA pour des durées de 1000 ms. Elle est aussi similaire entre TV et VT pour ces mêmes durées. Cependant, à 250 ms, les performances sont légèrement supérieures en AT qu'en TA et légèrement supérieures en VT qu'en TV (Grondin, 2003).

Comme décrit ci-dessus, il est bien établi que la discrimination d'intervalles temporels est beaucoup plus facile en auditif qu'en visuel (Grondin, Ouellet & Roussel, 2001; Grondin, Gamache, Tobin, Bisson & Hawke, 2008; Grondin, 2005). Pour cette raison, il est attendu que la combinaison d'un marqueur auditif et d'un marqueur visuel pour délimiter un intervalle de temps entraîne une capacité de discrimination située entre celle auditive et celle visuelle. Cependant, les expériences décrivent qu'utiliser une séquence auditive-visuelle ou visuelle-auditif ne produit pas une capacité de discrimination intermédiaire. Ces conditions intermodales présentent plutôt des performances inférieures à celles d'une séquence intramodale (Fraisse, 1952; Grondin, 1998; Grondin et al., 1996; Grondin & Rousseau, 1991; Rousseau, Poirier, & Lemyre, 1983). En effet, la fraction de Weber pour une gamme de durée tend à augmenter avec des intervalles plus courts (125 ms) et cet effet est plus marqué en visuel. Cette variation est de 4 à 8% en auditif et de 12% en visuel. L'interprétation en termes de variabilité ou de latence spécifique à chaque modalité prédit une fraction de Weber entre 8 et 12 %.

Cette prédiction est très inférieure au 30% observé par Grondin (1996) pour des intervalles intermodaux avec la même méthode.

Une autre explication de cette différence de performance entre la vision et l'audition serait le besoin de transférer les signaux visuels en signaux auditifs (Kanai, Lloyd, Bueti & Walsh, 2011). Selon cette explication, les conditions où un signal auditif et un signal visuel (AV ou VA) sont utilisés devraient entraîner une meilleure performance que lorsque les deux signaux sont visuels (VV). Cependant, pour des intervalles de moins d'une seconde, les résultats de plusieurs études montrent une plus grande dégradation de la capacité de discrimination lorsqu'un signal auditif et un signal visuel (AV ou VA) sont utilisés que lorsque les signaux sont dans la même modalité (AA et VV) (Rousseau & al., 1983; Grondin & Rousseau, 1991; Grondin, Roussel, Gamache, Roy & Ouellet, 2005). De plus, cet effet disparaît lorsque des durées de plus de 1.6 seconde sont présentées et que les participants ont l'instruction de compter pour accomplir la tâche (Grondin, Ouellet & Roussel, 2004).

De leur côté, Kuroda, Hasuo, Labonté, Laflamme et Grondin (2014) ont aussi rapporté une diminution de la sensibilité de discrimination en intermodalité. Leurs deux expériences impliquaient la présentation de deux intervalles délimités par trois signaux de modalités auditives ou visuelles. Lorsque les intervalles étaient présentés par des signaux auditifs au début et à la fin et un signal visuel au milieu (AVA) ou encore par des signaux visuels au début et à la fin et un signal auditif au milieu (VAV), la sensibilité était inférieure comparativement aux conditions où les trois signaux étaient soit auditifs (AAA), soit visuels (VVV). Cependant, la sensibilité de la condition AVA était moins affectée par ce changement de modalité que la condition VAV. Une explication possible serait que le participant ne compare pas les deux durées des intervalles entre eux, mais plutôt la position relative du marqueur du milieu. Puisque les signaux visuels sont plus difficiles à discriminer que les signaux auditifs, la condition AVA serait avantagée par rapport à la condition VAV qui ne contiendrait qu'un signal auditif. Le seul problème avec cette explication est que les conditions AAA et VVV avaient un niveau de discrimination similaire, ce qui porte à croire que la présentation de trois stimuli successifs annule l'effet de modalité.

Comme mentionné plus haut, la fraction de Weber est supérieure pour des intervalles brefs (30% à 100 ms) et elle diminue avec l'augmentation des durées (10% à 1000 ms). Cet effet est conforme avec la loi de Weber généralisée. La loi de Weber

généralisée est un concept utilisé en psychophysique pour expliquer l'augmentation de la fraction de Weber lorsque les stimuli sont de très petites magnitudes. Selon cette loi, cette augmentation est due à la présence de bruit sensoriel qui nuit à la capacité de discriminer. Mise à part cette augmentation, la loi stipule aussi que la fraction de Weber est constante. Ainsi, la différence de magnitude nécessaire pour distinguer deux stimuli est proportionnelle à la magnitude des stimuli (Grondin, 2001b).

En résumé, toutes les différences observées au niveau de la durée perçue et de la capacité de discrimination entre les conditions intramodales et intermodales sont un défi pour l'hypothèse de l'horloge unique. L'interprétation des différences basée seulement sur la latence sensorielle ne peut expliquer toutes ces différences. Un autre modèle, présenté par Grondin et Rousseau (1991), pourrait expliquer ces différences. Selon ce modèle, il y aurait deux processus qui permettraient d'évaluer le temps. Le premier processus serait spécifique à chaque modalité. Dans ce processus spécifique, l'émetteur commencerait à envoyer des pulsations dès que le premier marqueur de l'intervalle serait détecté par le système sensoriel. Si le second marqueur est de la même modalité que le premier, l'émetteur terminerait l'envoi des pulsations dès qu'il serait détecté. Le second processus serait aspécifique, c'est-à-dire qu'il ne tiendrait pas compte de la modalité du marqueur. Ce serait plutôt un signal interne qui indiquerait à ce processus quand commencer et quand terminer l'envoi des pulsations. Ce signal interne serait produit lorsque les marqueurs de l'intervalle seraient détectés et ce, peu importe la modalité du marqueur. Cependant, il y aurait un délai entre la détection du marqueur et la création du signal interne. Ce serait ce délai qui expliquerait les performances inférieures observées lors de discrimination en intermodalité.

### **Structure séquentielle.**

La structure dans laquelle un intervalle temporel est présenté a aussi un impact sur la perception de celui-ci. Un effet intéressant observé lors de la présentation de séquence d'intervalles est une distorsion du temps appelée l'erreur d'ordre temporel (Allan & Gibbon, 1994). En effet, les intervalles qui constituent une séquence ne sont pas perçus comme indépendants. Ainsi, selon la durée des intervalles présentés et de la durée de l'intervalle interstimuli, les durées peuvent être surestimées ou sous-estimées. Nakajima, ten Hoopen et Van Der Wilk (1991) ont démontré une de ces erreurs d'ordre temporel. Ils l'ont nommé l'illusion de la contraction du temps (*time shrinking illusion*). Cette illusion fait en sorte que dans une condition de séquence temporelle continue, le

dernier intervalle d'une série doit durer environ 78 ms pour qu'il soit perçu comme étant de la même durée que les intervalles précédents de 50 ms.

Un autre fait important en séquence temporelle est que la durée des intervalles qui constituent la séquence a un impact sur le respect ou non de la loi de Weber. En effet, Friberg et Sundberg (1995) et ten Hoopen, Boelaarts, Gruisen, Apon, Donders, Mul et Akerboom (1994) ont démontré que si les intervalles sont de moins de 250 ms, le seuil différentiel demeure constant, ce qui est une violation de la loi de Weber. Par contre, lorsque les intervalles sont de plus de 250 ms, le seuil différentiel relatif reste constant et donc respecte la loi de Weber.

Plusieurs études ont appuyé l'existence de l'effet du « *multiple-look* ». Cet effet consiste en la diminution du seuil différentiel lorsque le nombre d'observations d'un intervalle temporel augmente. Cet effet fut démontré dans l'étude de Drake et Botte (1993). Ils ont observé une diminution du seuil différentiel lorsque les deux séquences présentées aux participants comportent 1, 2, 3 ou 4 intervalles temporels. Par contre, les résultats ne montrent pas d'augmentation lorsque le nombre d'intervalles passe de 4 à 6. Il semble qu'au-delà d'un certain nombre d'augmentations de présentations, les bénéfices sur la capacité de discrimination n'augmentent plus. Drake et Botte (1993) ont conclu qu'en présence de séquences temporelles isochroniques, une stratégie de regard multiple (*multiple-look strategy*) était utilisée par les participants. Cette stratégie impliquerait la création d'une trace en mémoire de la moyenne des durées ainsi que de leur degré de dispersion de la première séquence d'intervalles. Cette moyenne des intervalles de la première séquence serait ensuite comparée avec les intervalles de la seconde séquence. Ainsi, plus il y aurait d'intervalles dans la première séquence, plus précise serait la trace en mémoire et meilleure serait la sensibilité.

Dans une série d'expériences en auditif, Panissal-Vieu et Drake (1998) ont trouvé le nombre de présentations nécessaires pour obtenir une sensibilité de discrimination optimale. Dans la première expérience, ils ont présenté deux séquences d'intervalles temporels. La première séquence était constituée de durées standards et la seconde des comparateurs. Tandis que le nombre de présentations de la première séquence augmentait, celui du second restait constant. Dans la seconde expérience, la position du standard et du comparateur était échangée. C'est le comparateur qui voyait son nombre augmenter tandis que le standard restait constant. Les résultats montrent que pour une capacité de discrimination optimale il faut 5 présentations du standard à 100 ms et il en faut 3



présentations à 300 ms et à 500 ms. Quant au comparateur, la sensibilité optimale est obtenue avec 3 présentations à 100, 300 et 500 ms. Dans le même sens que Drake et Botte (1993), les auteurs ont conclu qu'une trace en mémoire stable et précise de la durée était construite pendant la première séquence et qu'elle était ensuite comparée avec les deux premiers intervalles de la seconde séquence.

De son côté, ten Hoopen, Hartsuiker, Sasaki, Nakajima, Tanaka et Tsumura (1995) n'ont pas observé le « multiple-look » dans leur expérience. Dans leur expérience, ils présentaient aux participants des séquences comprenant 1, 2 ou 3 standards suivis immédiatement par un intervalle de comparaison. Tous les intervalles étaient délimités par des stimuli auditifs. Les participants devaient répondre en disant si le dernier intervalle semblait plus court ou plus long que les précédents. Les résultats qu'ils ont obtenus ne supportent pas la notion de « multiple-look ». En effet, aucune amélioration de la capacité de discrimination n'a été observée lorsque le standard était présenté plusieurs fois.

L'expérience de ten Hoopen et al. (1995) souligne bien le manque de compréhension face au « multiple-look effect ». Dans une tentative pour mieux décrire le phénomène ainsi que de définir les caractéristiques nécessaires à une séquence temporelle pour qu'elle favorise l'apparition du « multiple-look effect », ten Hoopen, Berg, Memelink, Bocanegra et Boon (2011) ont effectué une série d'expériences. La première expérience consistait à présenter deux séquences temporelles avec un standard de 100, 200, 400 et 800 ms. La première séquence était constituée d'une durée standard présentée 9 fois par des stimuli auditifs et suivis par 1, 2, 3, 4, 5, 7 ou 9 intervalles de comparaison. Le participant devait ensuite déterminer si le rythme de la séquence devenait plus rapide ou plus lent. Lors de la seconde séquence, c'était le standard qui était présenté 1, 2, 3, 4, 5, 7 ou 9 fois et suivi d'un intervalle de comparaison. Les participants devaient dire si le dernier son était apparu trop tôt ou trop tard selon le rythme des intervalles précédents. Les résultats montrent que le seuil différentiel diminue lorsque le nombre d'intervalles de comparaison est augmenté, et ce pour toutes les durées standards. Par contre, ils n'ont observé aucune diminution du seuil différentiel lorsque le nombre de standards présentés augmente.

La deuxième expérience de ten Hoopen et al. (2011) avait pour but de vérifier si le « multiple-look effect » est présent lorsqu'il n'y a pas 1 comparateur, mais bien 9. Ils ont donc repris la structure de la première séquence de leur première expérience

constituée d'une durée standard qui était présentée 9 fois par des stimuli auditifs suivis par 1, 2, 3, 4, 5, 7 ou 9 intervalles de comparaison. Ils ont ensuite créé une autre condition où le standard était présenté 1, 2, 3, 4, 5, 7, ou 9 fois et suivi de 9 comparateurs. Finalement, ils ont ajouté deux autres conditions similaires aux deux premières conditions, mais où les comparateurs étaient présentés en premier et suivis par le standard. Pour cette expérience, ils n'ont utilisé que deux durées standards, 200 et 400 ms. Les résultats de cette seconde expérience ont montré une diminution du seuil différentiel avec l'augmentation du nombre de présentation et ce pour les deux durées standards. De plus, cette diminution était présente peu importe la position du standard, qu'il soit avant ou après le comparateur.

Pour leur dernière expérience, ten Hoopen et al. (2011) ont mélangé le nombre de présentations du standard et du comparateur en gardant la même procédure que dans leur deuxième expérience. Les deux pouvaient être présentés 1, 2, 3, 4 ou 5 fois pour un total de 25 possibilités pour chacune des deux durées standard, 200 et 400 ms. Les résultats ont démontré plusieurs choses. Premièrement, le « multiple-look effect » était encore présent dans toutes les conditions, mais il était plus fort quand l'augmentation du nombre de présentations survenait avant le changement de rythme. Ensuite, en regroupant les résultats selon le nombre de présentations total du standard et du comparateur dans les séquences, ils ont observé que le plus grand effet était observé lorsque le rythme changeait au tout début de la séquence. Le second plus grand effet était lorsque le rythme changeait à la toute fin de la séquence. Quand le changement se produisait en plein centre de la séquence, l'effet était à son plus faible.

Les résultats de cette série d'expériences ont non seulement démontré qu'il y a un « multiple-look effect » lorsque le nombre de présentations augmente après le changement de rythme, comme démontré par Panissal-Vieu et Drake (1998), mais aussi que l'effet apparaît quand le nombre de présentations augmente avant le changement de rythme. Ainsi, il n'y aura pas une, mais deux représentations en mémoire qui seraient formées, une pour le standard et une pour le comparateur.

Contrairement aux études mentionnées ci-dessus, Grondin (2001a) a utilisé des signaux visuels pour faire l'étude des séquences temporelles. Malgré l'utilisation de la modalité visuelle pour délimiter les intervalles, Grondin a obtenu des résultats similaires aux expériences en modalité auditive. En effet, dans son expérience 1A avec des durées standards de 600 et 900 ms, il a observé que la fraction de Weber était à son minimum

lorsque le standard était présenté trois fois. De plus, la fraction de Weber était plus élevée dans la condition continue (i.e., lorsque les durées standards et de comparaison étaient présentées une à la suite de l'autre) que dans la condition discontinue (i.e., qu'il y avait une séparation de 1,5 s entre la présentation des durées standards et des durées de comparaison). Par contre, dans la deuxième expérience, avec des durées de 600 et 900 ms, il n'y avait pas de différence de fraction de Weber entre la condition continue et discontinue. De plus, la capacité de discrimination était seulement affectée par le nombre de standards présenté dans la condition discontinue. Ainsi, plus il y avait de durées standards présentées, plus la sensibilité augmentait.

De leur côté, Grondin et McAuley (2009) ont testé l'effet des séquences temporelles intermodales sur la capacité de discrimination. Dans une série d'expériences, ils ont présenté deux séquences composées d'une ou de quatre durées. Ces durées étaient présentées grâce à deux ou cinq marqueurs qui étaient soit auditifs ou soit visuels. Dans l'expérience 1, les marqueurs de la première séquence étaient des sons et ceux de la seconde séquence des flashes. Dans l'expérience 2, c'était la première séquence qui était constituée de flashes et la seconde de sons. Dans l'expérience 3, les deux séquences étaient faites de flashes et dans l'expérience 4 les marqueurs étaient tous des sons. La tâche consistait à dire si les durées qui constituaient la deuxième séquence étaient plus courtes ou plus longues que ceux qui constituaient la première séquence. Ils ont observé une augmentation de la capacité de discrimination lorsque le comparateur était présenté plusieurs fois, et ce dans toutes les conditions sauf celle avec seulement des sons. Cette augmentation était observée autant quand le standard était présenté dans la première séquence que dans la seconde séquence. Par contre, l'augmentation était supérieure lorsque le standard était présenté dans la première séquence. Aussi, la capacité de discrimination était supérieure dans la condition avec seulement des marqueurs auditifs. La pire capacité de discrimination était lorsque tous les marqueurs étaient des flashes. Quant aux conditions avec des marqueurs des deux modalités, la capacité de discrimination se situait entre la condition auditive et la condition visuelle. Ces résultats viennent donc nuancer l'effet de séquence observé dans les études précédentes. De ce fait, présenter plusieurs fois la durée qui doit servir de standard augmente bien la capacité à discriminer. Cependant, il semble que l'augmentation de la capacité de discrimination est encore plus importante lorsque c'est le comparateur qui est présenté plus d'une fois.

## **But de l'étude**

L'intérêt de la présente étude est de voir si l'augmentation du nombre de standards présentés réduit la perte de capacité de discrimination observée en intermodalité. En effet, la théorie « interval-based » et la théorie « beat-based » prédisent qu'il y aura une amélioration de la capacité de discrimination si le standard est présenté plus d'une fois et ce, peu importe la modalité des marqueurs.

### **Capacité de discrimination.**

La première hypothèse de cette étude est que l'augmentation du nombre de standards présentés augmente la capacité de discrimination en condition intermodale. Si c'est bien le cas, la fraction de Weber qui sera obtenue dans la condition où trois standards seront présentés sera inférieure à celle obtenue dans les conditions où un et deux standards sont présentés. La fraction de Weber devrait aussi être inférieure dans la condition avec deux ou trois standards présentés que dans la condition avec un standard présenté. Ensuite, il est attendu que la capacité de discrimination sera meilleure dans les conditions intramodales que dans les conditions intermodales. Aussi, il est attendu que la loi de Weber soit respectée puisque la durée des standards est supérieure à 250 ms. Si cette hypothèse est vérifiée, la fraction de Weber devrait être la même pour les deux durées des standards.

### **Durée perçue.**

Pour ce qui est de la durée perçue, elle ne devrait pas être affectée par l'augmentation du nombre de standard présenté. Ainsi, aucune différence entre les trois conditions de présentation du standard n'est attendue. Aussi, la durée perçue devrait différer selon la modalité des marqueurs qui délimitent le standard. Pour cette raison, lorsque le standard sera délimité par des marqueurs auditifs, il est attendu que le comparateur en condition intermodale sera perçu comme plus long que ce même comparateur en intramodale. En effet, la combinaison d'un marqueur auditif puis d'un marqueur visuel pour délimiter le comparateur donnera l'impression que celui-ci est plus long. À l'inverse, lorsque le standard sera délimité par des marqueurs visuels, il est attendu que le comparateur en condition intermodale sera perçu comme plus court que ce même comparateur en intramodale, car la combinaison d'un marqueur visuel puis d'un marqueur auditif pour délimiter le comparateur donnera l'impression que celui-ci est plus court.



## **Méthode**

### **Participants**

Vingt participants prennent part à l'étude. Les participants sont recrutés grâce à un courriel (annexe B) envoyé aux étudiants et aux employés de l'Université Laval. Les participants sont âgés de moins de 40 ans et ont un statut d'étudiant ou d'employé à l'Université Laval. Par ailleurs, ils n'ont pas de problème de vision non corrigé ni de problème auditif non corrigé. Aucun trouble neurologique ou psychopathologique n'est diagnostiqué chez les participants. Un formulaire de consentement est rempli par les participants. Ces derniers consentent ainsi à participer à l'expérience de façon libre et éclairée (Annexe C). À la fin de l'expérience, les participants reçoivent une compensation monétaire d'une valeur de 42 \$ pour la totalité des sessions.

### **Matériel**

Toutes les tâches expérimentales sont informatisées et comprennent l'utilisation de stimuli visuels et auditifs et demandent des réponses motrices. L'ordinateur utilisé pour effectuer les tâches expérimentales est de marque Lenovo et de modèle 7360PC7. Les réponses motrices des participants sont données à l'aide d'un clavier d'ordinateur conventionnel de marque Lenovo et de modèle SK-8825. Toutes les tâches de l'expérience sont programmées à partir du programme E-Prime 2.0. Les participants réalisent l'expérience seule dans une pièce où l'éclairage est tamisé. Les participants sont assis face à une diode rouge circulaire placée à environ 1.5 m d'eux. Ils doivent fixer la diode, car les stimuli visuels sont présentés par celle-ci. Les stimuli auditifs sont émis par un haut-parleur de marque Altec Lansing placé sous la diode. La tonalité des sons est de 1kHz avec une intensité d'environ 70 dB SPL.

### **Procédure**

L'expérience comporte six sessions d'une durée de 45 à 60 minutes. Lors de chaque session, les participants effectuent une tâche de bissection temporelle. Cette tâche comporte quatre blocs expérimentaux. La séquence de ces blocs est balancée entre les participants pour contrôler pour les effets de séquences de modalité. Chaque bloc a 144 essais et est défini par une condition modale. À chaque essai, une séquence d'intervalles est présentée au participant. Le dernier intervalle présenté est le comparateur, alors que les intervalles le précédant sont tous des intervalles standards (de 400 ms ou de 800 ms). Les participants ont pour tâche d'estimer si le comparateur est d'une durée inférieure ou

supérieure aux intervalles standards. Il y a deux possibilités de réponse, soit « plus courte » que la durée standard, soit « plus longue » que la durée standard. La touche 1 du clavier est pour la réponse « plus courte » et la touche 3 est pour la réponse « plus longue ». Les comparateurs sont d'une durée de 275 ms, 325 ms, 375 ms, 425 ms, 475 ms ou 525 ms pour le standard de 400 ms et d'une durée de 550 ms, 650 ms, 750 ms, 850 ms, 950 ms ou 1050 ms pour le standard de 800 ms. Chaque session est liée aux conditions du nombre de présentations du standard. Il y a donc deux sessions avec trois stimuli présentés (1 standard), deux sessions avec quatre stimuli présentés (2 standards) et deux autres sessions avec cinq stimuli (3 standards) présentés. La séquence des sessions est équilibrée entre les participants pour contrôler pour les effets de séquences de session.

Quatre conditions modales sont utilisées durant chaque session de l'expérience. Ces conditions sont : auditive-auditive (AA), visuelle-visuelle (VV), auditive-visuelle (AV) et visuelle-auditive (VA). Ainsi, dans la condition AA seuls des stimuli auditifs sont présentés tandis que dans la condition VV seuls des stimuli visuels sont présentés. Pour ce qui est de la condition AV, tous les stimuli sont auditifs sauf le dernier qui est visuel. Pour la condition VA, tous les stimuli sont visuels sauf le dernier qui est auditif. Finalement, la durée des stimuli est de 10 ms. Vous trouverez des exemples de ces conditions à l'annexe D.

## **Analyses**

Suite aux six sessions de l'expérience, la probabilité de répondre que la durée de comparaison est plus longue que le standard est mesurée pour chaque participant dans chaque condition. À partir de cette probabilité, une fonction psychométrique est tracée. Chacun des six points de la fonction est basé sur 24 observations. Il est attendu que la perception du temps soit un phénomène qui se distribue normalement. En conséquence, la fonction de répartition de la loi normale est utilisée. Ainsi, chaque fonction psychométrique est ajustée à l'aide d'une régression non linéaire dont les paramètres sont estimés à partir de la fonction de répartition de la loi normale. Deux paramètres sont ensuite extraits de chaque fonction psychométrique : la moyenne ( $\mu$ ) et l'écart-type ( $\sigma$ ). Cette moyenne représente le point d'égalité subjective (PES), tandis que l'écart-type représente le degré de dispersion des scores autour de cette moyenne.

À partir de l'écart-type, la première variable dépendante de l'étude est calculée. C'est la fraction de Weber : écart-type/standard. Une fraction de Weber élevée

correspondra à une sensibilité faible. L'avantage de cette fraction est qu'il est possible de comparer la sensibilité pour des stimuli de différentes magnitudes (Grondin, 2008). Cette variable dépendante permet de vérifier la sensibilité des participants à 400 ms et à 800 ms.

Le PES permet de connaître la différence de durée perçue par les participants (Grondin, 2008). En d'autres termes, il permet de connaître la durée subjective de l'intervalle temporel que le participant garde en mémoire afin de catégoriser les intervalles de comparaison qui sont présentés. Par ailleurs, grâce au PES, il est possible de déterminer la tendance générale des participants à surestimer ou à sous-estimer les intervalles temporels présentés (Grondin, 2008). Par exemple, dans la condition « standard = 400 ms » de la présente étude, si le PES s'avère inférieur à 400 ms, la durée des intervalles de comparaison est surestimée par rapport au standard, car le participant répond « plus longue » plus fréquemment que « plus courte ». À l'inverse, si le PES est supérieur à 400 ms, la durée des intervalles de comparaison est sous-estimée.

À partir du PES, il est aussi possible de calculer la deuxième variable dépendante de l'étude : l'erreur relative. Ce paramètre correspond à  $(\text{PES} - \text{intervalle standard}) / \text{intervalle standard}$  (Grondin, 2008). Un score positif signifie que le standard est perçu comme « plus long » que la durée de comparaison. À l'inverse, si le score est négatif, cela signifie que le standard est perçu comme « plus court » que la durée de comparaison. L'utilisation de l'erreur relative plutôt que du PES comme variable dépendante permet la comparaison directe des résultats obtenus avec les deux valeurs standards, 400 ms et 800 ms.

Quatre analyses de la variance (ANOVA) selon un schéma factoriel 2 (durée)  $\times$  2 (modalité)  $\times$  3 (nombre de présentations du standard) avec mesures répétées sur chaque facteur seront effectuées : une pour connaître les différences entre les conditions sur la fraction de Weber lorsque le standard est auditif et une lorsque le standard est visuel. Une autre ANOVA est utilisée pour connaître les différences entre les conditions sur l'erreur relative lorsque le standard est auditif et une lorsque le standard est visuel. Un niveau  $\alpha$  de .05 sera retenu pour chacune des ANOVAs.



## Résultats

Les résultats de 10 participants sont retenus lorsque le standard est présenté en auditif et les résultats de 11 participants sont retenus lorsque le standard est présenté en visuel. Les raisons de l'exclusion des résultats des autres participants sont présentées à l'annexe E.

### Capacité de discrimination

Pour les conditions où le standard est auditif, la fraction de Weber moyenne est de 0.094 (É.T. = 0.034) en intramodalité et de 0.209 (É.T. = 0.072) en intermodalité. De plus, la fraction de Weber moyenne est de 0.150 (É.T. = 0.054) lorsque le standard est présenté une fois, de 0.138 (É.T. = 0.045) lorsqu'il est présenté deux fois et de 0.166 (É.T. = 0.060) lorsqu'il est présenté trois fois. Enfin, la fraction de Weber moyenne est de 0.176 (É.T. = 0.069) avec un standard de 400 ms et de 0.127 (É.T. = 0.037) avec un standard de 800 ms. Le tableau 1 de l'annexe F présente les statistiques descriptives pour chaque condition.

La figure 1 de l'annexe G présente les fractions de Weber des conditions AA et AV en fonction du nombre de standards présentés et de la durée du standard. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour la fraction de Weber lorsque le standard est auditif montrent une différence statistiquement significative entre la condition intramodale et la condition intermodale,  $F(1, 9) = 109.39, p < .001, \eta^2_p = .92$ . Il y a aussi une différence statistiquement significative entre les durées du standard,  $F(1, 9) = 28.51, p < .001, \eta^2_p = .76$ . Cependant, il y a un effet d'interaction entre les durées du standard et les modalités du dernier marqueur,  $F(1, 9) = 11.12, p = .009, \eta^2_p = .55$ . Ainsi, il y a une différence entre la fraction de Weber à 400 ms ( $M = 0.249$ ) et à 800 ms ( $M = 0.170$ ) en intermodalité, mais cette différence n'existe pas en intramodalité (400 ms,  $M = 0.102$ ; 800 ms,  $M = 0.085$ ).

Pour les conditions où le standard est en visuel, la fraction de Weber moyenne est de 0.153 (É.T. = 0.057) en intramodalité et de 0.209 (É.T. = 0.082) en intermodalité. De plus, la fraction de Weber moyenne est de 0.186 (É.T. = 0.081) lorsque le standard est présenté une fois, de 0.171 (É.T. = 0.064) lorsqu'il est présenté deux fois et de 0.185 (É.T. = 0.064) lorsqu'il est présenté trois fois. Enfin, la fraction de Weber moyenne est de 0.197 (É.T. = 0.075) avec un standard de 400 ms et de 0.164 (É.T. = 0.064) avec un standard de 800 ms. Le tableau 2 de l'annexe F présente les statistiques descriptives pour chaque condition.

La figure 2 de l'annexe G présente les fractions de Weber des conditions VV et VA en fonction du nombre de standards présentés et de la durée du standard. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour la fraction de Weber lorsque le standard est en visuel montrent une différence statistiquement significative entre la condition intramodale et la condition intermodale,  $F(1, 10) = 14.74, p = .003, e^2p = .60$ . Il y a aussi une différence statistiquement significative entre les durées du standard,  $F(1, 10) = 12.86, p = .005, e^2p = .56$ . Par contre, il y a une interaction marginalement significative entre les durées du standard et les modalités du dernier marqueur,  $F(1, 10) = 4.50, p = .06, e^2p = .31$ . Ainsi, il y a une différence entre la condition intramodale ( $M = 0.158$ ) et la condition intermodale ( $M = 0.235$ ) à 400 ms, mais cette différence disparaît à 800 ms (intramodalité,  $M = 0.147$ ; intermodalité,  $M = 0.182$ ).

### **Durée perçue**

Pour les conditions où le standard est auditif, l'erreur relative moyenne est de 0.010 (É.T. = 0.052) en intramodalité et de -0.094 (É.T. = 0.091) en intermodalité. De plus, l'erreur relative moyenne est de -0.038 (É.T. = 0.060) lorsque le standard est présenté une fois, de -0.038 (É.T. = 0.085) lorsqu'il est présenté deux fois et de -0.050 (É.T. = 0.069) lorsqu'il est présenté trois fois. Enfin, l'erreur relative moyenne est de -0.059 (É.T. = 0.084) avec un standard de 400 ms et de -0.025 (É.T. = 0.058) avec un standard de 800 ms. Le tableau 3 de l'annexe F présente les statistiques descriptives pour chaque condition.

La figure 3 de l'annexe G présente les erreurs relatives des conditions AA et AV en fonction du nombre de standard présenté et la durée du standard. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour l'erreur relative lorsque le standard est auditif montrent une différence statistiquement significative entre la condition intramodale et la condition intermodale,  $F(1, 9) = 31.05, p < .001, e^2p = .78$ . Une différence statistiquement significative entre les durées du standard est aussi observée,  $F(1, 9) = 7.60, p = .022, e^2p = .46$ . Cependant, une interaction entre les durées du standard et les modalités du dernier marqueur est observée,  $F(1, 9) = 6.20, p = .034, e^2p = .41$ . Ainsi, il y a une différence entre la condition intramodalité ( $M = 0.097$ ) et la condition intermodalité ( $M = -0.007$ ) à 400 ms, mais cette différence disparaît à 800 ms (intramodalité,  $M = 0.040$ ; intermodalité,  $M = -0.009$ ).

Pour les conditions où le standard est visuel, l'erreur relative moyenne est de -0.027 (É.T. = 0.070) en intramodalité et de 0.037 (É.T. = 0.087) en intermodalité. De plus, l'erreur relative moyenne est de -0.015 (É.T. = 0.073) lorsque le standard est présenté une fois, de 0.022 (É.T. = 0.076) lorsqu'il est présenté deux fois et de 0.008 (É.T. = 0.085) lorsqu'il est présenté trois fois. Enfin, l'erreur relative moyenne est de 0.003 (É.T. = 0.087) avec un standard de 400 ms et de 0.007 (É.T. = 0.069) avec un standard de 800 ms. Le tableau 4 de l'annexe F présente les statistiques descriptives pour chaque condition.

La figure 4 de l'annexe G présente les erreurs relatives des conditions VV et VA en fonction du nombre de standard présenté et la durée du standard. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour l'erreur relative lorsque le standard est visuel montrent une différence statistiquement significative entre la condition intramodale et la condition intermodale,  $F(1, 10) = 23.68, p < .001, \eta^2_p = .70$ . De plus, il y avait une différence statistiquement significative entre les nombres de standards présentés,  $F(2, 20) = 5.68, p = .011, \eta^2_p = .36$ . Une comparaison pairée de ces trois conditions permet de voir que la différence a lieu seulement entre la condition 1 standard présentée et la condition 2 standard présenté,  $p = 0.009$ .

## **Discussion**

Les résultats des analyses montrent qu'à 400 ms, la fraction de Weber est plus élevée en intermodalité qu'en intramodalité. De plus, cette différence est maintenue à 800 ms lorsque le standard est délimité par des marqueurs auditifs. Par contre, cette différence entre l'intramodalité et l'intermodalité disparaît à 800 ms lorsque le standard est en modalité visuelle. Quant à la durée perçue, elle ne change pas lorsque le nombre de standards augmente. Cette absence de changement est observée que le premier marqueur soit auditif ou visuel. Cependant, il y a une différence de la durée perçue entre les conditions intramodales et les conditions intermodales. La durée perçue du comparateur est plus longue en AV qu'en AA. À l'inverse, la durée perçue du comparateur est plus courte en VA qu'en VV. De plus, quand le standard est en modalité visuelle, la durée perçue du comparateur est plus courte lorsque le standard est présenté deux fois que lorsqu'il est présenté une fois.

### **Capacité de discrimination**

La première hypothèse de cette étude est que l'augmentation du nombre de standards présenté augmente la capacité de discrimination en condition intermodale. Les résultats de l'étude vont à l'encontre de cette hypothèse. En effet, aucun changement de la capacité de discrimination n'est observé lorsque le nombre de standards présenté augmente. Cette absence d'amélioration est observée autant dans la condition où le standard est délimité par des stimuli auditifs que dans la condition où le standard est délimité par des stimuli visuels. Ces résultats sont semblables aux résultats obtenus par ten Hoopen et al. (1995). Dans leurs expériences, ils présentaient aux participants des séquences comprenant 1, 2 ou 3 standards suivis immédiatement par un intervalle de comparaison. Tous les intervalles étaient délimités par des stimuli auditifs. Les participants devaient répondre en disant si le dernier intervalle semblait plus court ou plus long que les précédents. Ils n'ont pas observé d'amélioration de la capacité de discrimination avec des séquences délimitées par des marqueurs auditifs. Grondin (2001a) a observé un phénomène similaire, mais avec des séquences délimitées par des marqueurs visuels. Dans cette étude, avec des standards de 600 et 900 ms, l'augmentation du nombre de standards dans une séquence continue n'améliorait pas la capacité de discrimination. Cependant, lorsque le nombre de standards augmentait dans une séquence discontinue, la capacité de discrimination s'améliorait.

Il semble donc que l'absence d'effet de séquence soit due à la structure de la séquence. En effet, elle apparaîtrait en séquences discontinues, mais pas en séquences continues. Il est possible que son absence en séquences continues soit due au fait que le comparateur et le standard sont dans la même séquence. Cette proximité temporelle empêcherait un bon encodage en mémoire du standard. Cette explication est tout à fait plausible, car plusieurs études ont observé un effet de séquence en utilisant des séquences discontinues avec une durée inter-séquences de 1s à 1.5s (Drake & Botte, 1993; Grondin, 2001a; Grondin & McAuley, 2009; McAuley & Kidd, 1998; Panissal-Vieu & Drake, 1998). De plus, Drake et Botte (1993) expliquaient leurs résultats avec la consolidation en mémoire du standard. Cependant, ils pensaient que cette consolidation était seulement due à l'augmentation du nombre de standards. Les résultats de la présente étude portent à croire que c'est la combinaison de l'augmentation du nombre de standards présenté et de la présence d'une pause inter-séquences qui entraîne une meilleure capacité de discrimination.

À la suite de ces résultats, il semble que le mécanisme qui permet d'estimer le temps n'utilise pas le rythme comme unités de base. Il utiliserait plutôt les intervalles. En effet, même si la séquence rythmique était plus longue dans certaines conditions et donc en principe plus facile à percevoir, la capacité de discrimination ne changeait pas. La présence d'un rythme n'est donc pas un facteur qui améliore la capacité de discrimination temporelle. C'est pour cette raison que les résultats de la présente étude favorisent l'approche théorique « interval-based ».

Une deuxième hypothèse était que la capacité de discrimination serait meilleure dans les conditions intramodales que dans les conditions intermodales. Cette hypothèse est partiellement confirmée par les résultats de la présente étude. En effet, la fraction de Weber obtenue dans les conditions intermodales était supérieure à celle obtenue dans les conditions intramodales lorsque le standard est en auditif (voir Figure 1, p.53). Cependant, cette différence dans la fraction de Weber entre intramodalité et intermodalité disparaît à 800 ms lorsque le standard est délimité par des marqueur visuels (voir Figure 2, p.54). L'interprétation de ces résultats est directement liée à la troisième hypothèse qui était que la loi de Weber serait respectée. Cette hypothèse est aussi partiellement confirmée. En effet, les résultats de l'étude respectent la loi de Weber, mais seulement en intramodalité. Pour la condition intermodale, les résultats respectent plutôt la loi de Weber dans sa forme généralisée. Ainsi, la capacité de discrimination reste la même en intramodalité, peu

importe la durée du standard, mais en intermodalité il est plus difficile de discriminer les durées à 400 ms qu'à 800 ms. Cette difficulté supérieure en intermodalité peut être expliquée par la présence d'un bruit sensoriel plus important en intermodalité qu'en intramodalité. Ainsi, la différence de performance entre l'intermodalité et l'intramodalité serait de nature sensorielle.

La présence de bruit sensoriel plus important en intermodalité vient supporter le modèle d'horloge interne à deux niveaux de Grondin et Rousseau (1991) qui fut présenté dans l'introduction. En effet, la différence de bruit sensoriel observé entre l'intramodalité et l'intermodalité peut être expliquée par le traitement supplémentaire nécessaire au niveau aspécifique pour émettre les signaux internes qui permettent l'estimation de durées intermodales. En effet, le traitement des intervalles intramodaux se fait au niveau spécifique de l'horloge interne. Puisque ce traitement est automatique, il crée moins de bruit sensoriel que le traitement fait au niveau aspécifique, ce qui permet de faire des estimations temporelles plus précises.

### **Durée perçue**

La première hypothèse liée à la durée perçue était que celle-ci serait affectée par la condition intermodale et que cette variation de la durée perçue dépendrait de la modalité des marqueurs qui délimite le standard. Cette hypothèse est confirmée par les résultats obtenus dans l'étude. En effet, dans la condition où le standard est délimité par des marqueurs auditifs, le standard est perçu comme « plus court » que le comparateur dans la condition intermodale. À l'inverse, lorsque le standard est délimité par des marqueurs visuels, le standard est perçu comme « plus long » que le comparateur dans la condition intermodale. Ces résultats sont en accord avec ceux observés dans la littérature scientifique. De plus, il semble concorder avec l'hypothèse que chaque modalité a sa propre durée de traitement, sa propre latence. En effet, le fait que les comparateurs marqués par une séquence visuo-auditive sont perçus comme plus courts que ceux délimités par deux marqueurs visuels suggère que les signaux auditifs sont traités plus rapidement que les signaux visuels. La surestimation des comparateurs délimités par un marqueur auditif puis un marqueur visuel comparativement aux comparateurs délimités par deux marqueurs auditifs vient renforcer cette idée.

Une autre hypothèse par rapport à la durée perçue était qu'il n'y aurait aucune différence entre les trois conditions du nombre de standards présenté. Cette hypothèse est

partiellement confirmée. En effet, la durée perçue est constante, peu importe le nombre de standards utilisés lorsque le standard est en auditif. Par contre, la durée perçue varie avec le nombre de standards présentés lorsque le standard est en visuel. Ainsi, le comparateur est plus sous-estimé lorsque le standard est présenté deux fois que lorsqu'il est présenté une seule fois. Ce résultat est pour le moins inusité. À première vue, ce changement de la durée perçue pourrait être dû à un effet de masquage. Cependant, cette explication doit être rejetée pour la raison suivante. Un masquage a généralement lieu lorsque la durée entre deux stimuli est trop courte pour que le premier stimulus soit totalement traité. Raymond, Shapiro et Arnell (1992) ont observé la présence d'un effet de masquage lorsque les deux stimuli à détecter sont à moins de 500 ms l'un de l'autre. Ce manque de temps entraîne un délai dans le traitement du deuxième stimulus. Dans la présente expérience, il est possible que la durée entre les stimuli soit trop courte pour les conditions où le standard est de 400 ms. Cependant, lorsque le standard est de 800 ms, il y a amplement de temps entre les stimuli pour qu'il soit complètement traité. Le fait que le comparateur est plus sous-estimé lorsque le standard est présenté deux fois autant à 400 ms qu'à 800 ms pointe vers une autre explication. Ainsi, aucune explication satisfaisante n'a été trouvée pour ce phénomène.

Une autre conclusion importante peut être tirée de la tendance observée chez les participants qui ont été retirés de l'analyse. En effet, même si leurs réponses n'ont pas pu être utilisées lors de l'analyse, le fait que les conditions qui étaient problématiques étaient toujours en condition intermodale suggère que l'invalidité de leurs résultats n'est pas liée à la difficulté des conditions intermodales. Si les conditions intermodales étaient trop difficiles, les participants auraient répondu de façon aléatoire entre plus court et plus long. Ainsi, pour chaque point de la courbe psychométrique, le pourcentage de réponse « plus longue » aurait été autour de 50%. Ce n'est pas le cas dans la présente étude. Quand le standard était auditif, les participants répondaient 50% du temps « plus longue » lorsque le comparateur était à sa plus petite valeur. Le pourcentage de réponse « plus longue » augmentait ensuite avec l'augmentation de la durée du comparateur (voir Figures 7, 15 et 2, p.57, 59 et 61). Quand le standard était visuel, c'était l'inverse. Les participants répondaient environ 5% du temps « plus longue » lorsque la valeur du comparateur était à sa plus petite valeur. Le pourcentage de réponse « plus longue » augmentait ensuite avec l'augmentation de la durée du comparateur jusqu'à atteindre 50% (voir Figures 9, 17 et

25, p.58, 60 et 62). Ainsi, la tendance observée chez les participants n'est pas due à la difficulté de la tâche en intermodalité, mais à un autre facteur.

Cet autre facteur serait le choix des durées utilisées comme comparateurs. Pour le standard de 400 ms, les valeurs varient entre 275 ms et 525 ms par bonds de 50 ms et pour le standard de 800 ms, les valeurs allaient de 550 ms à 1050 ms avec des bonds de 100 ms. Puisque les résultats des participants étaient valides en intramodalité, il est clair que ces valeurs étaient bien choisies pour cette condition. Par contre, l'invalidité des résultats en intermodalité suggère qu'il aurait fallu des valeurs différentes. Puisque les participants répondaient majoritairement « plus courte » dans les conditions AV et majoritairement « plus longue » dans les conditions VA, il aurait fallu que les valeurs du comparateur couvrent une plus grande gamme de durées pour permettre de capter clairement les situations. En AV, il aurait fallu des valeurs plus petites pour permettre aux participants de percevoir le comparateur comme « plus long » que le standard moins de 25% des fois. En VA, il aurait fallu des valeurs plus grandes pour permettre aux participants de percevoir le comparateur comme « plus long » que le standard plus de 75% des fois.

En sachant que la moitié des participants ont été retirés de l'analyse, car la gamme de durées de comparaison choisie pour l'étude n'était pas assez grande pour capter l'ampleur du biais induit par les conditions intermodales sur la durée perçue, il est possible de conclure que la durée perçue rapportée pour chaque condition intermodale devrait être encore plus éloignée de la valeur réelle du standard à 400 ms.

### **Limites et études futures**

Une limite de l'étude est liée aux durées de comparaison. L'utilisation d'une méthode adaptative aurait probablement été plus appropriée que la méthode des stimuli constants pour comparer des conditions intramodales à des conditions intermodales. De plus, il est fort probable que l'utilisation d'une méthode adaptative aurait permis de conserver les résultats des participants retirés des analyses. En effet, cette méthode permet de changer la durée de comparaison utilisée lors d'un essai en fonction des réponses que le participant a données lors des essais précédents. Pour contrer cette limite, il est aussi possible d'augmenter la gamme de durées utilisées comme comparateur. Cependant, les conditions intramodales seront encore plus faciles pour les participants ce qui risque de diminuer la précision des résultats pour ces conditions.



De futures expériences seront nécessaires pour consolider les résultats observés dans la présente étude. D'abord, l'utilisation d'une gamme de durées de comparaison plus grande ou d'une méthode adaptative serait nécessaire pour venir confirmer les hypothèses présentées précédemment. Ensuite, il serait pertinent de vérifier si les effets obtenus dans la présente étude sont les mêmes avec la modalité tactile. Enfin, une autre étude pertinente pourrait être faite avec la même structure que la présente étude. Cependant, ce serait le nombre de comparateurs présentés qui augmenterait plutôt que le nombre de standards. Si l'on se fie aux résultats de Grondin et McAuley (2009), l'amélioration de la capacité de discrimination est plus marquée lorsque ce sont les comparateurs qui sont présentés plusieurs fois. Une telle structure d'expérience permettrait de maximiser les chances de voir une amélioration de la capacité de discrimination s'il y en a bien une en intermodalité en contexte de séquence.

En conclusion, il semble que le fait d'avoir une séquence temporelle n'empêche pas la diminution de la capacité de discrimination en intermodalité. De plus, la présence d'une séquence continue n'améliore pas non plus la capacité de discrimination en intramodalité. En effet, l'impact qu'une séquence temporelle a sur la perception du temps semble être la même que l'on soit en intramodalité ou en intermodalité. La présente étude suggère donc que la perception du temps serait faite par un processus « interval-based » plutôt que « beat-based ». De plus, le fait qu'à 400 ms la capacité de discrimination est supérieure en intramodalité renforce l'idée que l'estimation du temps est effectuée par une horloge interne à deux niveaux de traitement, un niveau de traitement automatique pour les intervalles intramodaux et un niveau de traitement plus complexe pour les intervalles intermodaux. Cependant, d'autres études seront nécessaires pour valider cette dernière idée.

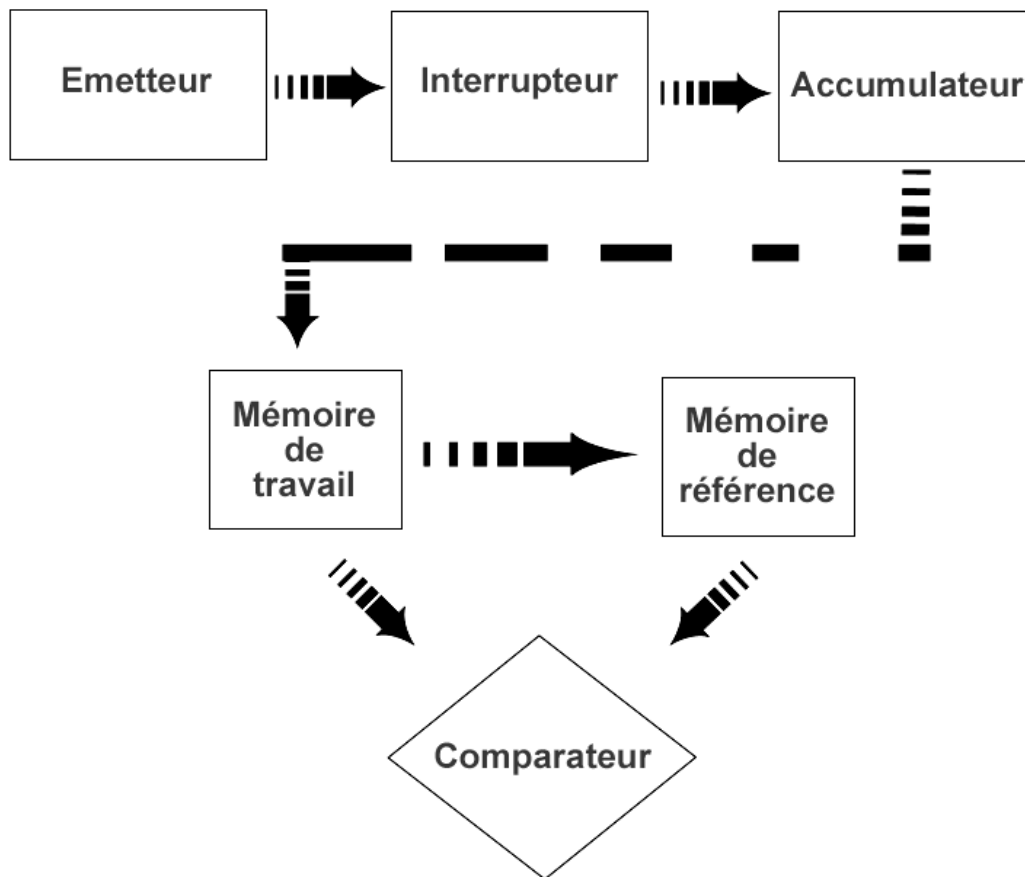
## Bibliographie

- Allan, L. G., & Gibbon, J. (1994). A new temporal illusion or the TOE once again? *Perception & Psychophysics*, *55*(2), 227–229. <http://doi.org/10.3758/BF03211669>
- Allan, L. G., Kristofferson, A. B., & Wiens, E. W. (1971). Duration discrimination of brief light flashes. *Perception & Psychophysics*, *9*(3), 327–334. <http://doi.org/10.3758/BF03212659>
- Craig, J. C. (1973). A constant error in the perception of brief temporal intervals. *Perception & Psychophysics*, *13*(1), 99–104. <http://doi.org/10.3758/BF03207241>
- Divenyi, P. L., & Danner, W. F. (1977). Discrimination of time intervals marked by brief acoustic pulses of various intensities and spectra. *Perception & Psychophysics*, *21*(2), 125–142. <http://doi.org/10.3758/BF03198716>
- Drake, C., & Botte, M.-C. (1993). Tempo sensitivity in auditory sequences: Evidence for a multiple-look model. *Perception & Psychophysics*, *54*(3), 277–286. <http://doi.org/10.3758/BF03205262>
- Fraisse, P. (1952). II. La perception de la durée comme organisation du successif. Mise en évidence expérimentale. *L'année Psychologique*, *52*(1), 39–46.
- Friberg, A., & Sundberg, J. (1995). Time discrimination in a monotonic, isochronous sequence. *The Journal of the Acoustical Society of America*. <http://doi.org/10.1121/1.413218>
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar Timing in Memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *423*(1), 52–77. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb23417.x>
- Goldfarb, J. L., & Goldstone, S. (1963). Time judgment: A comparison of filled and unfilled durations. *Perceptual and Motor Skills*, *16*, 376.
- Goldstone, S., & Goldfarb, J. L. (1963). Judgement of filled and unfilled durations: intersensory factors. *Perceptual and Motor Skills*, *17*, 763–774.
- Grondin, S. (1993). Duration discrimination of empty and filled intervals marked by auditory and visual signals. *Perception & Psychophysics*, *54*(3), 383–394.
- Grondin, S. (1996). Discriminating intermodal time intervals. Dans S. Masin (Ed.), *Fechner Day 96: Proceedings of the Twelfth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics* (pp. 275–280). Padova: The International Society for Psychophysics.
- Grondin, S. (1998). Judgments of the duration of visually marked empty time intervals: linking perceived duration and sensitivity. *Perception & Psychophysics*, *60*(2), 319–330. <http://doi.org/10.3758/BF03206040>
- Grondin, S. (2001a). Discriminating time intervals presented in sequences marked by visual signals. *Perception & Psychophysics*, *63*(7), 1214–1228. <http://doi.org/10.3758/BF03194535>
- Grondin, S. (2001b). From physical time to the first and second moments of psychological time. *Psychological Bulletin*, *127*(1), 22–44. <http://doi.org/10.1037//0033-2909.127.1.22>

- Grondin, S. (2003). Sensory modalities and temporal processing. Dans H. Helfrich (Ed.), *Time and Mind II: Information Processing Perspective* (pp. 61-78). Göttingen : Hogrefe & Huber.
- Grondin, S. (2005). Overloading temporal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(5), 869–879. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.31.5.869>
- Grondin, S., Gamache, P.-L., Tobin, S., Bisson, N., & Hawke, L. (2008). Categorization of brief temporal intervals: an auditory processing context may impair visual performances. *Acoustical Science & Technology*, *29*, 338–340.
- Grondin, S., & McAuley, J. D. (2009). Duration discrimination in crossmodal sequences. *Perception*, *38*(10), 1542–1559. <http://doi.org/10.1068/p6359>
- Grondin, S., Ivry, R. B., Franz, E., Perreault, L., & Metthé, L. (1996). Markers' influence on the duration discrimination of intermodal intervals. *Perception & Psychophysics*, *58*(3), 424–433.
- Grondin, S., Ouellet, B., & Roussel, M.-E. (2001). About optimal timing and stability of Weber fraction for duration discrimination. *Acoustical Science & Technology*, *22*(5), 370–372.
- Grondin, S., Ouellet, B., & Roussel, M.-E. (2004). Benefits and limits of explicit counting for discriminating temporal intervals. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *58*(1), 1–12. <http://doi.org/10.1037/h0087436>
- Grondin, S., & Rousseau, R. (1991). Judging the relative duration of multimodal short empty time intervals. *Perception & Psychophysics*, *49*(3), 245–256.
- Grondin, S., Roussel, M.-E. E., Gamache, P.-L. L., Roy, M. & Ouellet, B. (2005). The structure of sensory events and the accuracy of time judgments. *Perception*, *34*(1), 45–58. <http://doi.org/10.1068/p5369>
- Hartcher-O'Brien, J., Di Luca, M., & Ernst, M. O. (2014). The duration of uncertain times: audiovisual information about intervals is integrated in a statistically optimal fashion. *PLoS One*, *9*(3), e89339. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0089339>
- Kanai, R., Lloyd, H., Bueti, D., & Walsh, V. (2011). Modality-independent role of the primary auditory cortex in time estimation. *Experimental Brain Research*, *209*(3), 465–471. <http://doi.org/10.1007/s00221-011-2577-3>
- Keele, S. W., Nicoletti, R., Ivry, R. I., & Pokorny, R. A. (1989). Mechanisms of perceptual timing: Beat-based or interval-based judgements? *Psychological Research*, *50*, 251–256.
- Kuroda, T., Hasuo, E., Labonté, K., Laflamme, V., & Grondin, S. (2014). Discrimination of two neighboring intra- and intermodal empty time intervals marked by three successive stimuli. *Acta Psychologica*, *149*, 134–141. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.11.013>
- Mayer, K. M., Di Luca, M., & Ernst, M. O. (2014). Duration perception in crossmodally-defined intervals. *Acta Psychologica*, *147*, 2–9. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.07.009>

- McAuley, J. D., & Kidd, G. R. (1998). Effect of deviations from temporal expectations on tempo discrimination of isochronous tone sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*, 1786-1800.
- Nakajima, Y., Ten Hoopen, G., & Van Der Wilk, R. (1991). A New Illusion of Time Perception. *Music Perception*, *8*(4), 431–448. <http://doi.org/10.2307/40285521>
- Panissal-Vieu, N., & Drake, C. (1998). Tempo-perception: The multiple-look strategy is limited by a short temporal window. *Journal of the Acoustical Society of America*, *103*, 2849.
- Penney, T. B., Gibbon, J., & Meck, W. H. (2000). Differential effects of auditory and visual signals on clock speed and temporal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(6), 1770–1787. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.26.6.1770>
- Rakitin, B. C., Gibbon, J., Penney, T. B., Malapani, C., Hinton, S. C., & Meck, W. H. (1998). Scalar expectancy theory and peak-interval timing in humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *24*(1), 15–33.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*(3), 849–860. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.18.3.849>
- Rousseau, R., Poirier, J., & Lemyre, L. (1983). Duration discrimination of empty time intervals marked by intermodal pulses. *Perception & Psychophysics*, *34*(6), 541–548. <http://doi.org/10.3758/BF03205907>
- Ten Hoopen, G., Berg, S., Memelink, J., Bocanegra, B., & Boon, R. (2011). Multiple-look effects on temporal discrimination within sound sequences. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *73*(7), 2249–2269. <http://doi.org/10.3758/s13414-011-0171-1>
- Ten Hoopen, G., Boelaarts, L., Gruisen, A., Apon, I., Donders, K., Mul, N., & Akerboom, S. (1994). The detection of anisochrony in monaural and interaural sound sequences. *Perception & Psychophysics*, *56*(1), 110–120. <http://doi.org/10.3758/BF03211694>
- Ten Hoopen, G., Hartsuiker, R., Sasaki, T., Nakajima, Y., Tanaka, M., & Tsumura, T. (1995). Auditory isochrony: time shrinking and temporal patterns. *Perception*, *24*(5), 577–593. <http://doi.org/10.1068/p240577>
- Walker, J. T., & Scott, K. J. (1981). Auditory-visual conflicts in the perceived duration of lights, tones and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *7*(6), 1327–1339. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.7.6.1327>
- Wearden, J. H., Edwards, H., Fakhri, M., & Percival, A. (1998). Why “sounds are judged longer than lights”: Application of a model of the internal clock in humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *51B*(2), 97–120.

**Annexe A**  
**Modèle du temps scalaire de type**  
**traitement de l'information**



De « Scalar Timing in Memory », par Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1), 52-77.

**Annexe B**  
**Message de recrutement**

Bonjour,

Le laboratoire de recherche en psychologie de la perception s'intéresse à la façon dont l'humain perçoit les différents stimuli qui composent son environnement. Il utilise notamment la comparaison d'intervalles temporels présentés sous les modalités visuelle, auditive et tactile pour développer les connaissances en psychologie sur les systèmes biologiques perceptifs.

Le laboratoire est présentement à la recherche de personnes intéressées à contribuer à une recherche. L'étude en cours requiert la participation de personnes intéressées correspondant aux critères suivants :

- Employé(e) ou étudiant(e) à l'Université Laval
- Âgé(e) de 40 ans et moins
- Ne pas présenter un trouble neurologique ou psychologique nécessitant la prise de médication
- Ne pas présenter de problèmes de vision ou d'audition non corrigés

Des questions pourraient être posées aux participants lors de leurs contacts avec le laboratoire afin de vérifier leur éligibilité.

Lors de ces expériences, les participants ont à comparer ou reproduire la durée de stimuli qui leur sont présentés auditivement, visuellement et/ou tactilement.

L'étude se déroule sur six séances de 45 à 60 minutes qui peuvent s'étendre sur une durée d'un à deux mois. Une compensation monétaire est prévue pour les déplacements des participants.

Au plaisir de vous rencontrer !

Guillaume Plante

Étudiant à la maîtrise en psychologie – avec mémoire (M.A.).

Laboratoire de Recherche en Psychologie de la Perception

Téléphone : 656-2131, poste 4624

Courriel : guillaume.plante.7@ulaval.ca

Pavillon Félix-Antoine-Savard, local 0052B

Projet mené sous la supervision du Dr Simon Grondin (656-2131 #6227) et approuvé par le Comité d'éthique et de recherche de l'Université Laval (numéro d'approbation : 2015-242 / 16-10-2015).



**Annexe C**  
**Formulaire de consentement**

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Cette recherche est conduite par M. Guillaume Plante, étudiant à la maîtrise en psychologie – avec mémoire (M.A.).

Avant d'accepter de participer à cette étude, veuillez prendre le temps de lire et de comprendre les renseignements qui suivent. Ce document vous explique le but de ce projet de recherche, ses procédures, avantages, risques et inconvénients. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles à la personne qui vous présente ce document.

### Nature de l'étude

Cette recherche a pour but d'approfondir la compréhension des mécanismes fondamentaux de la perception temporelle. Plus précisément, l'étude tente de comprendre l'influence qu'ont les modalités auditives et visuelles lors qu'elle délimite des durées de temps présentées l'une à la suite de l'autre.

### Déroulement de la participation

L'étude comporte six sessions expérimentales. Chaque session est d'une durée de 45 à 60 minutes et elles peuvent prendre entre un à deux mois pour être complétée. Chaque session expérimentale est divisée en 6 blocs de 120 essais. Les participants doivent juger la longueur relative d'intervalles temporels délimités par des signaux auditifs, visuels ou tactiles ;

### Avantages, risques ou inconvénients possibles liés à la participation et compensation

La participation à cette recherche fournit aux participants(es) une occasion de se familiariser avec des tâches courantes en psychologie expérimentale, plus particulièrement en psychophysique de la durée.

Il n'y a aucun risque connu lié à la participation à cette recherche. Cependant, il se peut que vous ressentiez de la fatigue à la fin de chaque session compte tenu de leur longue durée. De plus, l'étude se divise en plusieurs sessions se qui demandera beaucoup de temps et de déplacements de votre part.

Les participant(e)s reçoivent une compensation monétaire (pour couvrir les frais de déplacement) de 7 dollars pour chacune des sessions (Total 42 dollars).

### Participation volontaire et droit de retrait

- Chaque participant(e) peut se retirer de cette recherche en tout temps, sans avoir à fournir de raison ni à subir de préjudice quelconque.

- Dans le cas où un(e) participant(e) se retirerait de l'étude, l'équipe de recherche vérifiera auprès de lui (elle) s'il (elle) accepte que les données recueillies soient tout de même utilisées.

#### Confidentialité et gestion des données

En ce qui concerne le caractère confidentiel des résultats obtenus, les mesures suivantes sont prévues :

- Les noms et prénoms des participant(e)s ne paraîtront sur aucun rapport ;
- Les données sont conservées sous format électronique dans l'ordinateur principal du laboratoire, protégé par un mot de passe. Seuls Simon Grondin et les assistants de recherche ont accès à celles-ci. Aucun nom ou prénom n'apparaissent dans ces fichiers.
- Un code alphanumérique est utilisé sur les divers documents de la recherche. Seul(e)s les chercheur(euse)s ont accès à la liste des noms et des codes ;
- Si les renseignements obtenus dans cette recherche sont soumis à des analyses ultérieures dans le cadre du présent projet, seul le code alphanumérique correspondant apparaîtra sur les divers documents ;
- En aucun cas, les résultats individuels des participant(e)s ne seront communiqués à qui que ce soit.

Un court résumé des résultats peut être fourni aux participant(e)s qui en font la demande. Enfin, seuls Guillaume Plante et son directeur de recherche, Simon Grondin, auront accès aux données de cette recherche. Ces dernières doivent être conservées au moins cinq (5) ans après la date de publication d'un article scientifique. Les données, le matériel ainsi que tous les renseignements personnels seront donc détruits à l'automne 2021.

Nous vous remercions de votre précieuse participation et de l'intérêt porté envers la recherche.

Pour des commentaires ou des renseignements supplémentaires :

Guillaume Plante

École de psychologie, Université Laval

Pavillon Félix-Antoine-Savard, local 0052-B

Téléphone : 656-2131, poste 4624

Courriel : [guillaume.plante.7@ulaval.ca](mailto:guillaume.plante.7@ulaval.ca)

Signatures

Je soussigné(e) \_\_\_\_\_ consens librement à participer à la recherche intitulée : «Chronométrage et perception temporelle : approches psychophysique et neuroscientifique ». J'ai pris connaissance du présent formulaire et je comprends le but, la nature, les avantages, les risques et les inconvénients du projet de

recherche. Je suis satisfait(e) des explications, précisions et réponses que le chercheur m'a fournies, le cas échéant, quant à ma participation à ce projet.

---

---

Signature du(de la) participant(e)

Date

---

---

Nom et prénom du chercheur (ou de son/sa  
représentant(e))

Signature du chercheur (ou de  
son/sa  
représentant(e))

#### Plainte ou critique

Toute plainte ou critique relativement à ce projet de recherche pourra être adressée, en toute confidentialité, au bureau de l'Ombudsman de l'Université Laval dont les coordonnées sont les suivantes :

Pavillon Alphonse-Desjardins, bureau 3320

2325, rue de l'Université

Université Laval,

Québec (Québec) G1V 0A6

Renseignements - Secrétariat : (418) 656-3081

Ligne sans frais : 1-866-323-2271

Télécopieur : (418) 656-3846

Courriel : [info@ombudsman.ulaval.ca](mailto:info@ombudsman.ulaval.ca)

**Annexe D**  
**Exemple des conditions modales**

Exemples des conditions modales quand l'intervalle standard est présenté deux fois

Condition auditif-auditif :



Condition visuel-visuel :





Condition auditif-visuel :



Condition visuel-auditif :



Légende :  = intervalle standard  
 = intervalle de comparaison

**Annexe E**  
**Explication de l'exclusion de participants**

Trois participants se sont retirés de l'étude avant d'avoir complété toutes les séances. De plus, suite à la création des fonctions psychométriques, les résultats de certains participants furent retirés de l'analyse, car le  $R^2$  de leurs fonctions était inférieur à 72%. En effet, le  $R^2$  permet de connaître le niveau de similarité entre la fonction tracée à partir des données recueillies et la fonction théorique. Dans le cas présent, le seuil différentiel et le point d'égalité subjective extraits de ces courbes psychométriques étaient invalides. Dans certaines conditions, les participants ne répondaient pas 25% et 75% de fois « plus longue » à certaines durées de comparaisons présentées. Pour cette raison, la véritable valeur des X à 25% ou à 75% ne sont pas connues et sans la connaissance de ces vraies valeurs, le seul différentiel calculé est invalide.

Seulement un participant avait des mauvaises courbes psychométriques dans toutes les conditions. Les résultats des autres participants qui ont dû être retirés avaient tous les mêmes tendances. En effet, dans les conditions où le standard était toujours auditif (AA et AV), les participants retirés avaient des mauvaises courbes psychométriques seulement en intermodalité (AV) à 400 ms. De plus, même lorsque la durée de comparaison était la plus longue (525 ms), ces participants la percevaient en moyenne 50% des fois « plus longue » que la durée standard (voir figures 7, 15 et 23 de l'annexe G).

Dans les conditions où le standard était toujours visuel (VV et VA), les participants retirés avaient des mauvaises courbes psychométriques seulement en intermodalité (VA) à 400 ms. De plus, même lorsque la durée de comparaison était la plus courte (275 ms), ces participants la percevaient en moyenne 50% de fois « plus longue » que la durée standard (voir figures 9, 17 et 25 de l'annexe G).



**Annexe F**  
**Tableaux**

Tableau 1

*Moyenne et écart-type de la fraction de Weber lorsque le standard est auditif*

Durée du standard	Nombre de standards présentés	Modalité des marqueurs	Moyenne	Écart-Type
400	1	AA	0.109	0.033
400	1	AV	0.239	0.126
400	2	AA	0.092	0.033
400	2	AV	0.226	0.074
400	3	AA	0.106	0.029
400	3	AV	0.281	0.119
800	1	AA	0.073	0.019
800	1	AV	0.18	0.036
800	2	AA	0.088	0.052
800	2	AV	0.147	0.022
800	3	AA	0.093	0.035
800	3	AV	0.183	0.055

Tableau 2

*Moyenne et écart-type de la fraction de Weber lorsque le standard est visuel*

Durée du standard	Nombre de standards présentés	Modalité des marqueurs	Moyenne	Écart-Type
400	1	VA	0.248	0.135
400	1	VV	0.165	0.066
400	2	VA	0.221	0.088
400	2	VV	0.153	0.044
400	3	VA	0.237	0.081
400	3	VV	0.157	0.036
800	1	VA	0.185	0.070
800	1	VV	0.146	0.051
800	2	VA	0.178	0.072
800	2	VV	0.133	0.053
800	3	VA	0.182	0.048
800	3	VV	0.162	0.09

Tableau 3

*Moyenne et écart-type de l'erreur relative lorsque le standard est auditif*

Durée du standard	Nombre de standards présentés	Modalité des marqueurs	Moyenne	Écart-Type
400	1	AA	0.006	0.038
400	1	AV	-0.114	0.102
400	2	AA	0.014	0.051
400	2	AV	-0.141	0.17
400	3	AA	0.007	0.050
400	3	AV	-0.126	0.093
800	1	AA	0.019	0.041
800	1	AV	-0.063	0.058
800	2	AA	0.015	0.064
800	2	AV	-0.041	0.053
800	3	AA	0.000	0.066
800	3	AV	-0.079	0.067

Tableau 4

*Moyenne et écart-type de l'erreur relative lorsque le standard est visuel*

Durée du standard	Nombre de standards présentés	Modalité des marqueurs	Moyenne	Écart-Type
400	1	VA	0.004	0.060
400	1	VV	-0.068	0.087
400	2	VA	0.060	0.097
400	2	VV	-0.014	0.091
400	3	VA	0.043	0.128
400	3	VV	-0.005	0.060
800	1	VA	0.046	0.075
800	1	VV	-0.040	0.071
800	2	VA	0.064	0.064
800	2	VV	-0.021	0.053
800	3	VA	0.005	0.097
800	3	VV	-0.013	0.056

**Annexe G**  
**Figures**

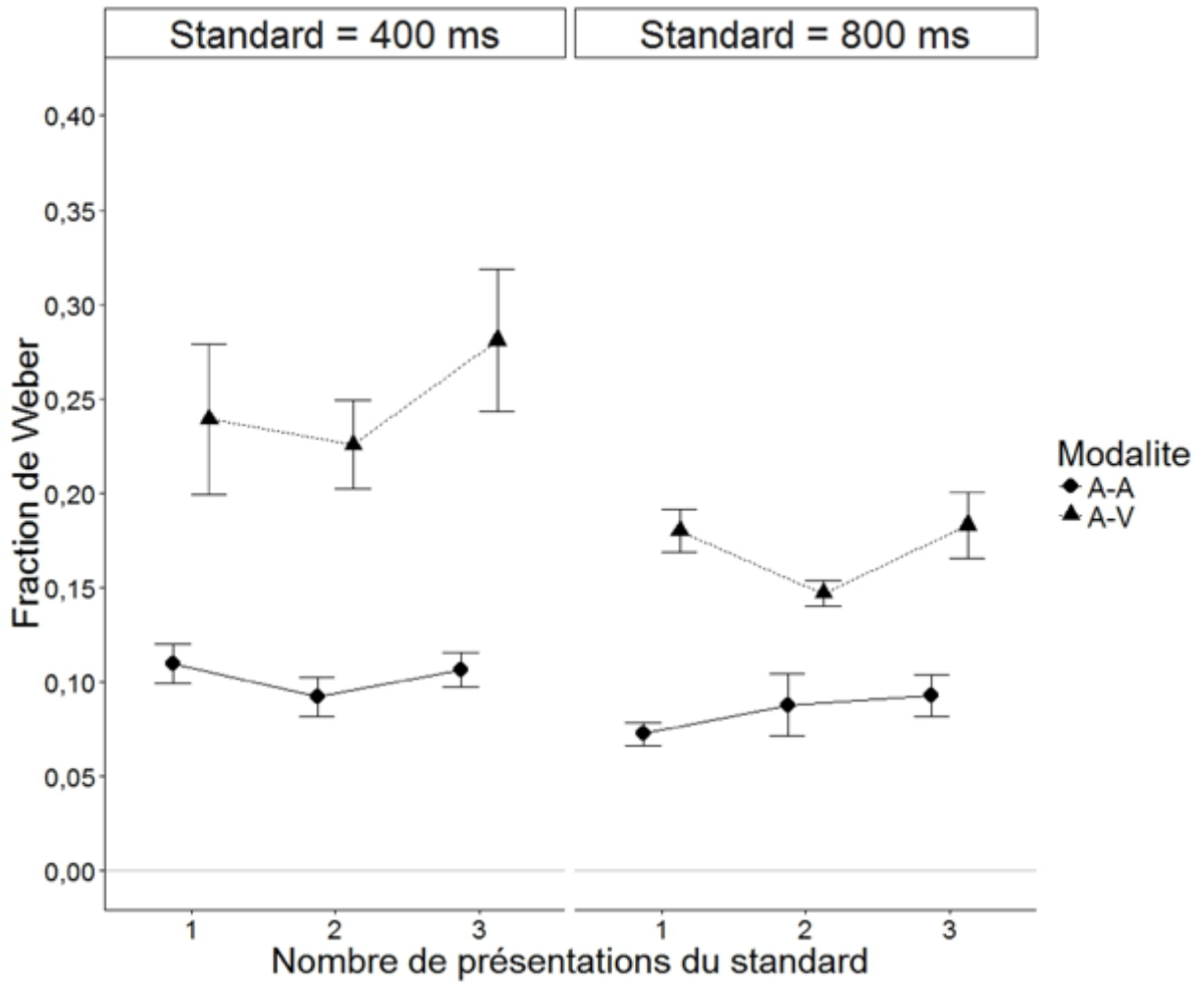


Figure 1. Fractions de Weber des conditions AA et AV en fonction du nombre de standards présentés et de la durée du standard

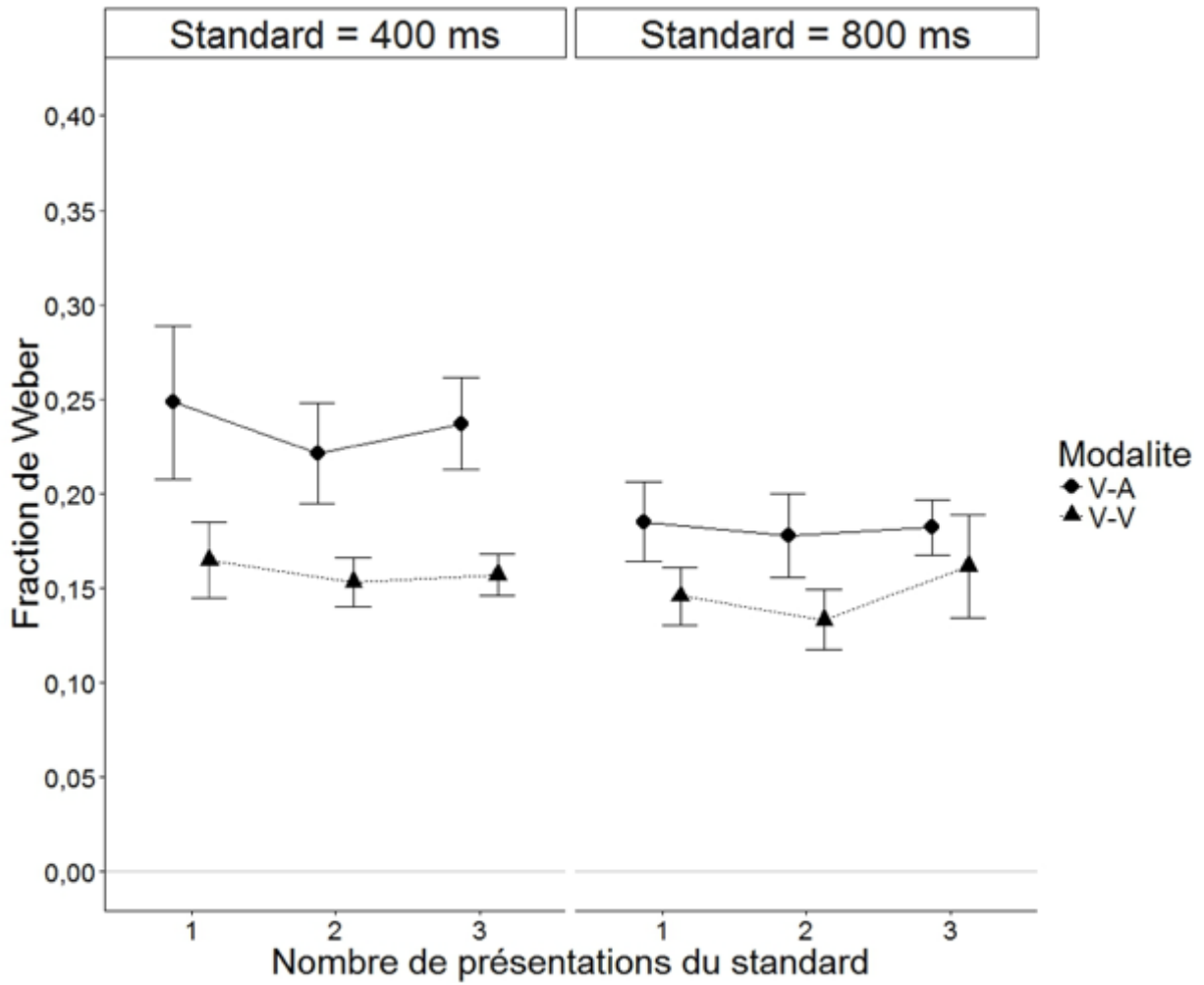


Figure 2. Fractions de Weber des conditions VV et VA en fonction du nombre de standard présenté et la durée du standard.



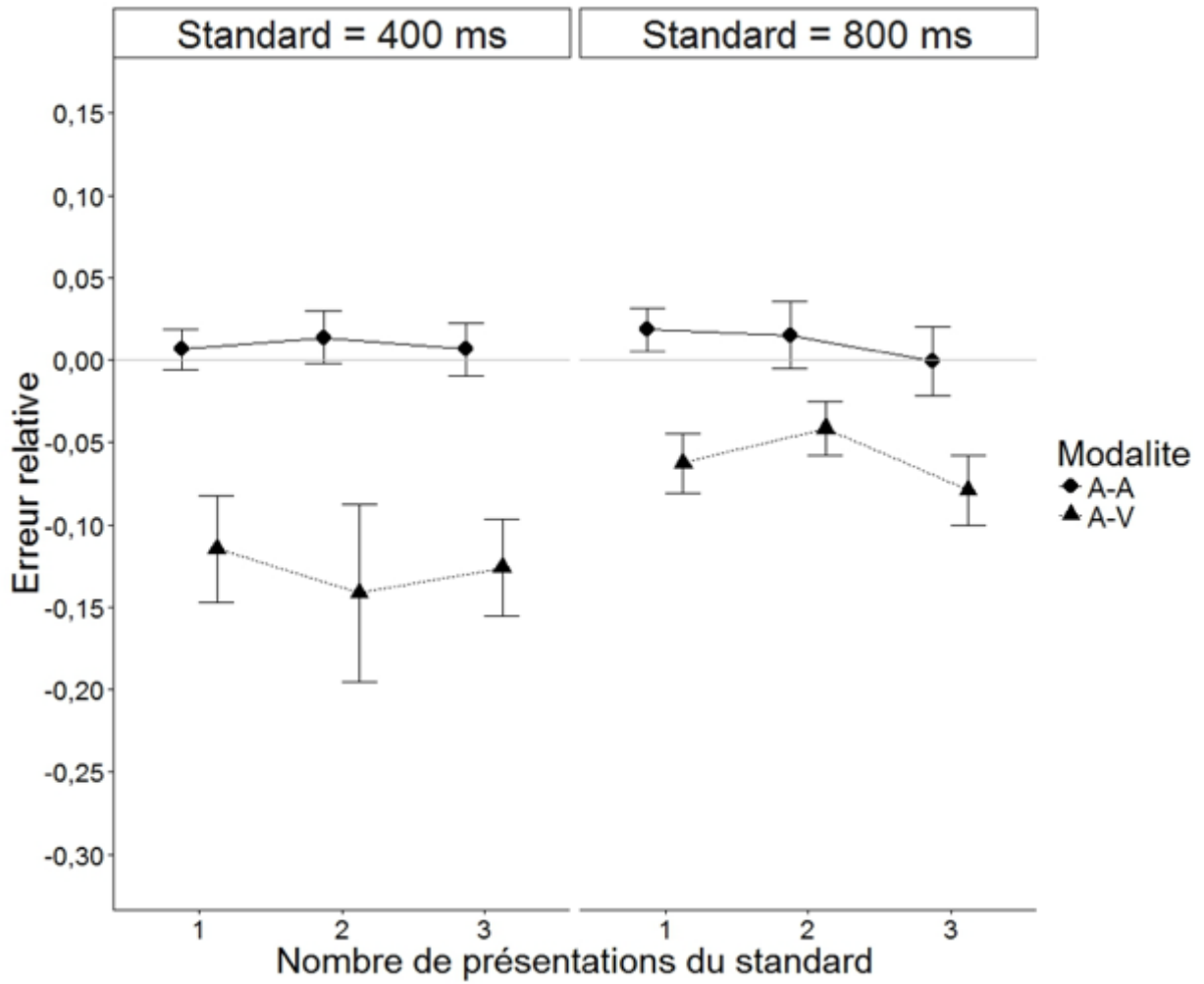


Figure 3. Erreurs relatives des conditions AA et AV en fonction du nombre de standard présenté et la durée du standard.

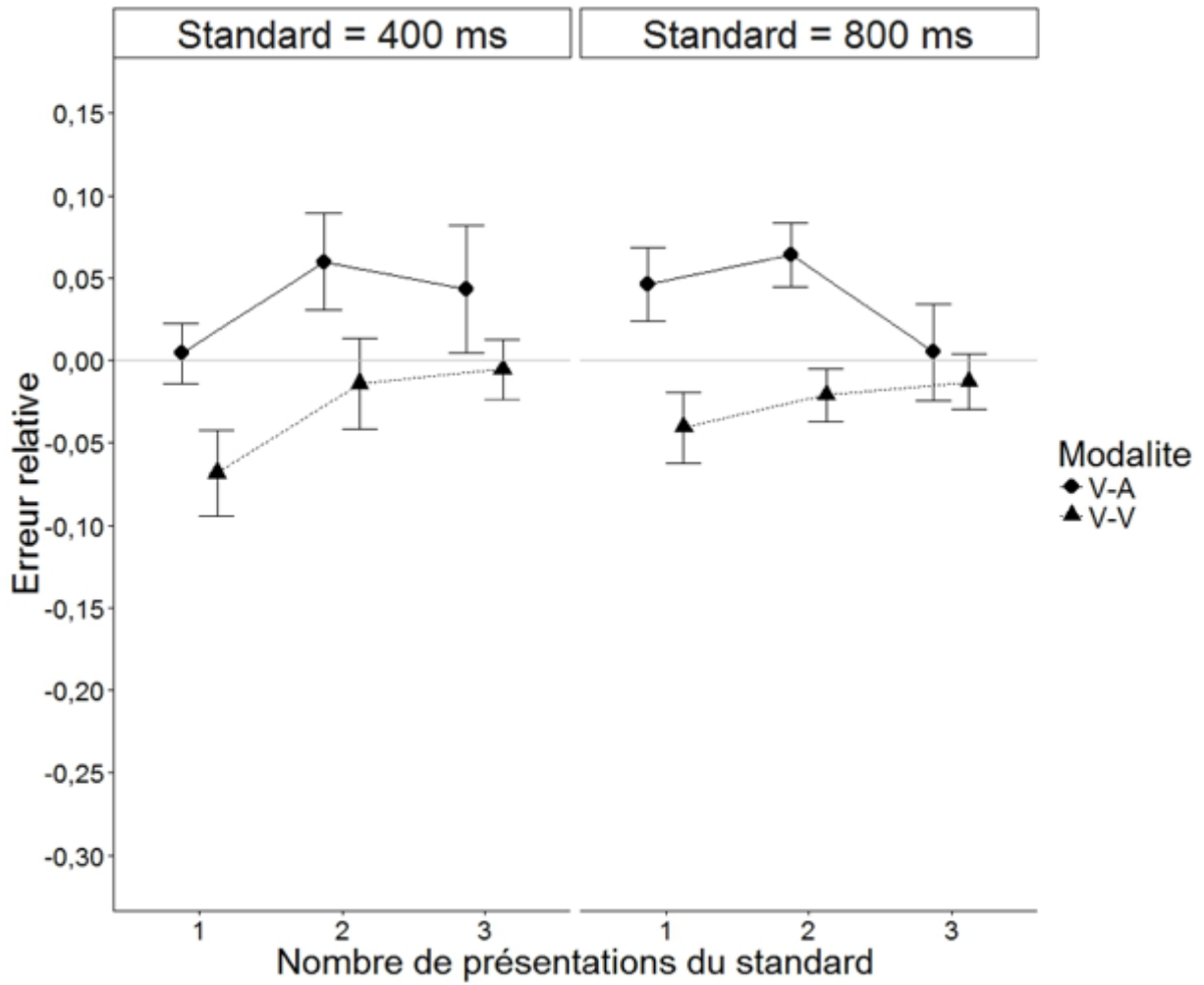


Figure 4. Erreurs relatives des conditions VV et VA en fonction du nombre de standard présenté et la durée du standard.

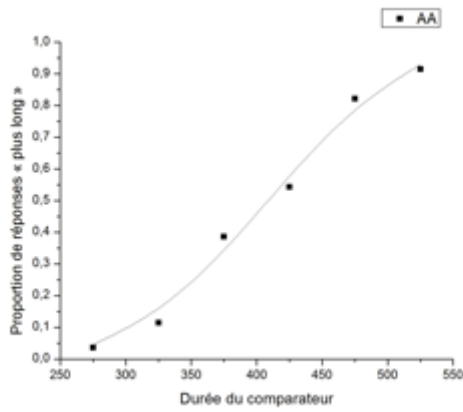


Figure 5. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse en fonction de la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois.

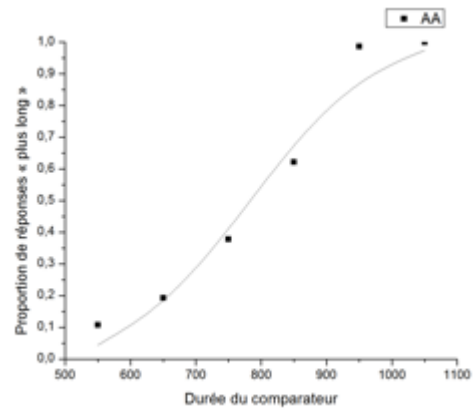


Figure 6. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois.

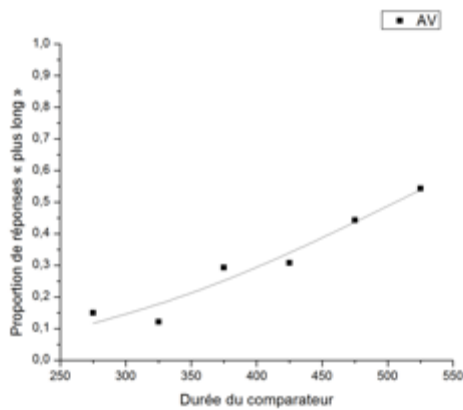


Figure 7. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois.

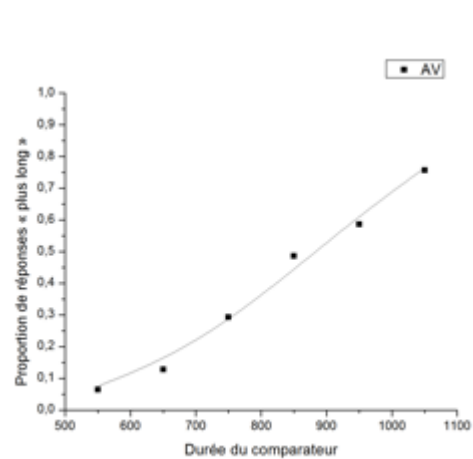


Figure 8. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois.

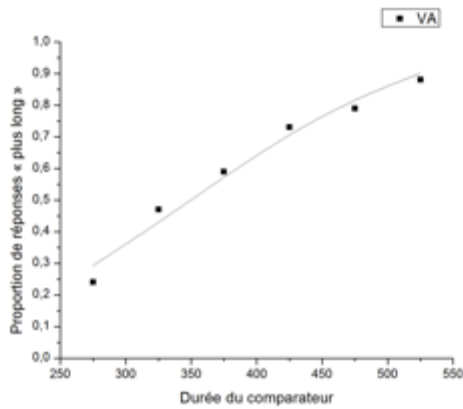


Figure 9. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois.

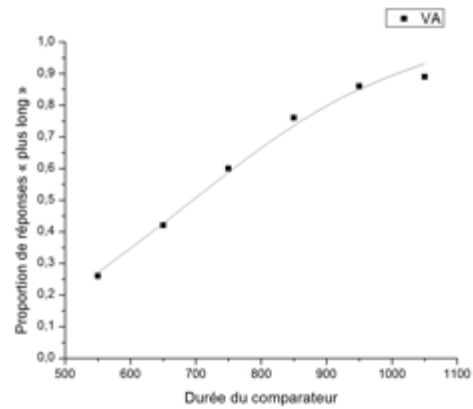


Figure 10. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois.

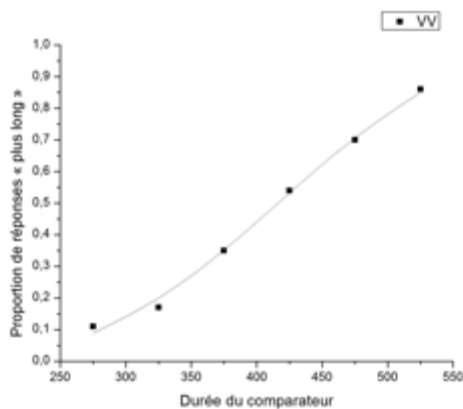


Figure 11. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 1 fois.

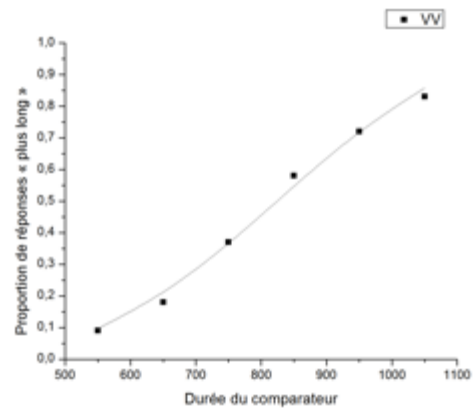


Figure 12. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 1 fois.

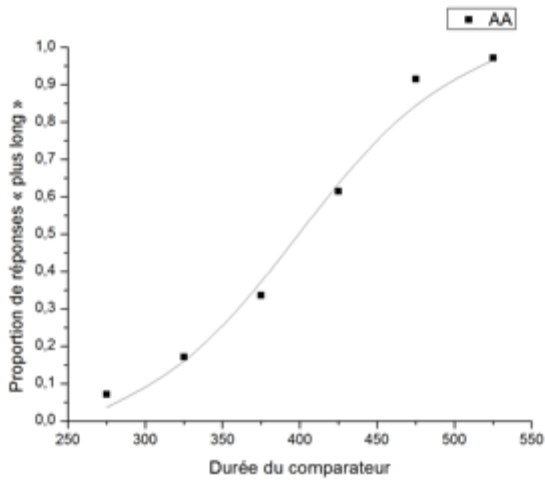


Figure 13. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois.

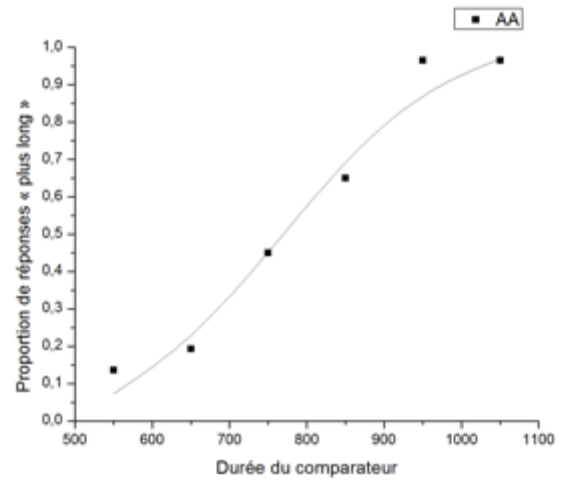


Figure 14. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois.

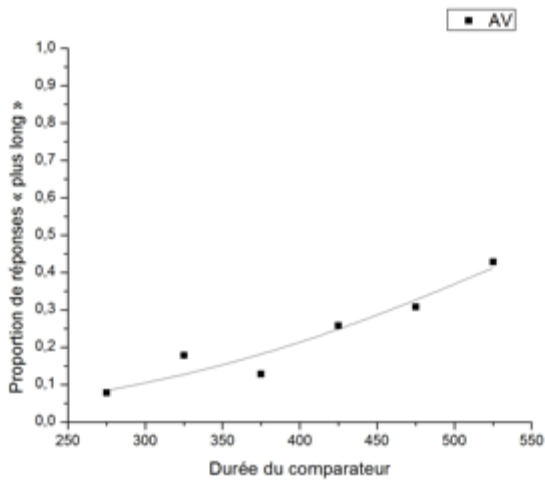


Figure 15. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois.

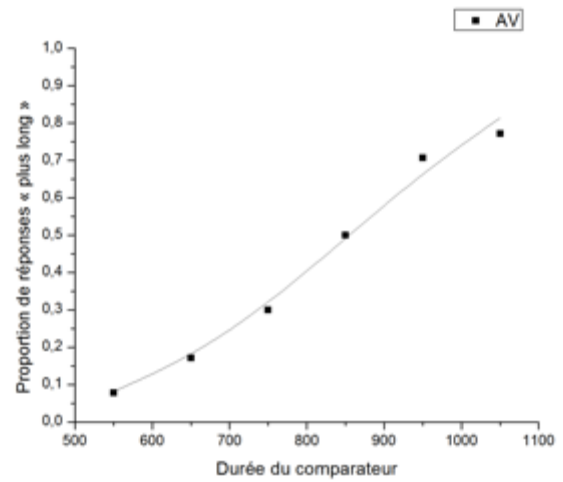


Figure 16. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois.

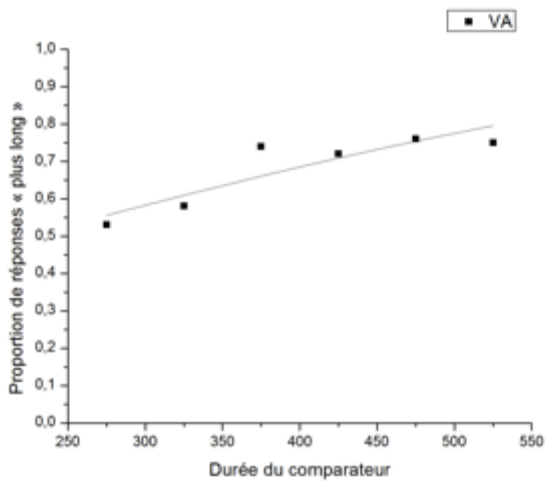


Figure 17. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois.

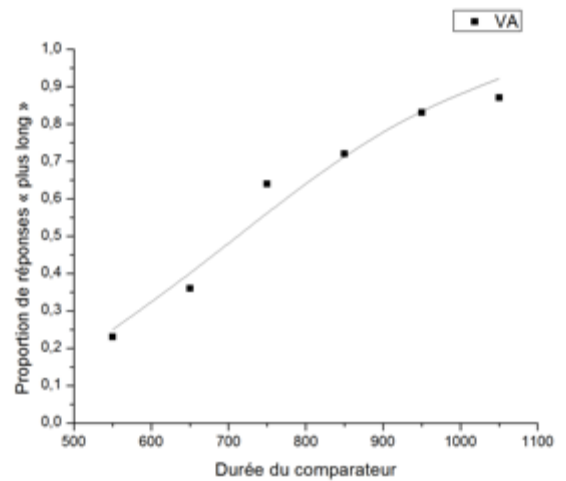


Figure 18. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois.

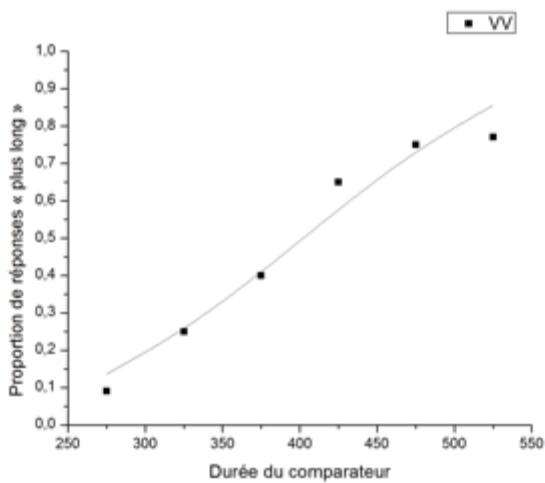


Figure 19. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 2 fois.

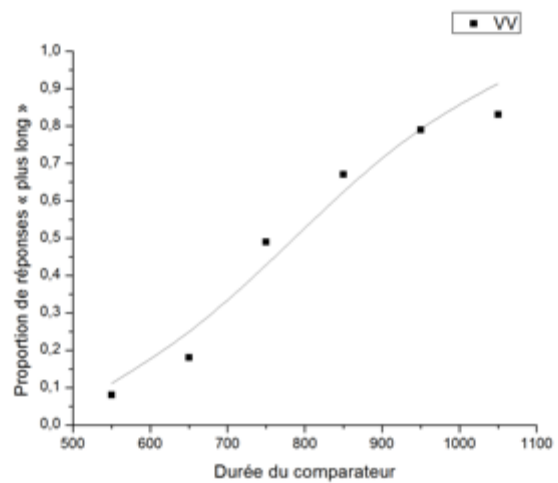


Figure 20. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 2 fois.

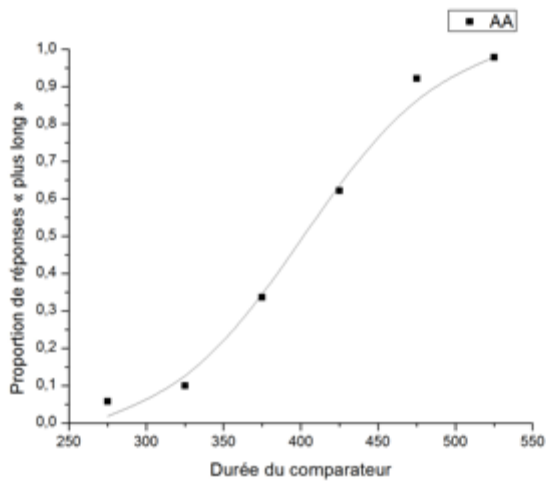


Figure 21. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois.

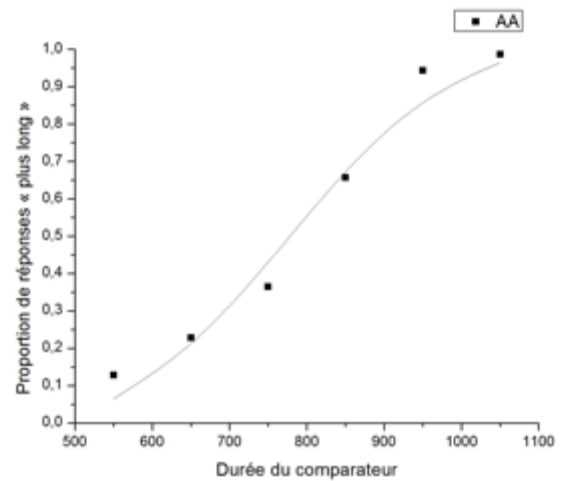


Figure 22. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AA quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois.

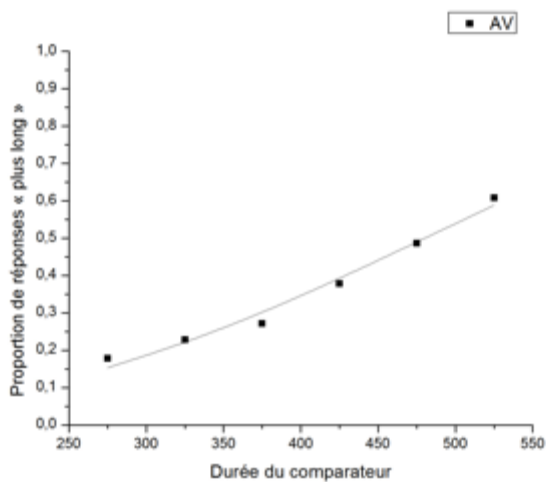


Figure 23. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois.

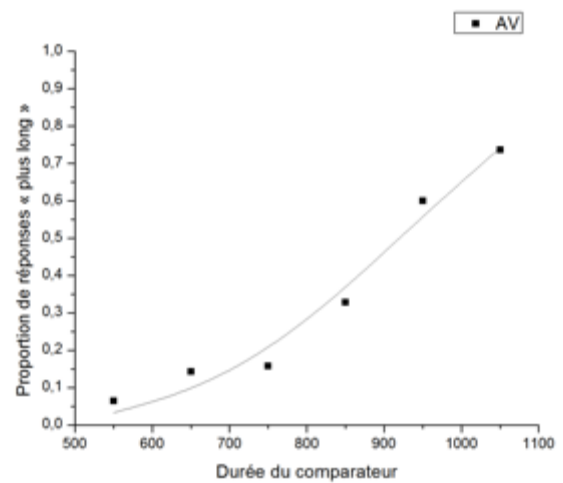


Figure 24. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition AV quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois.

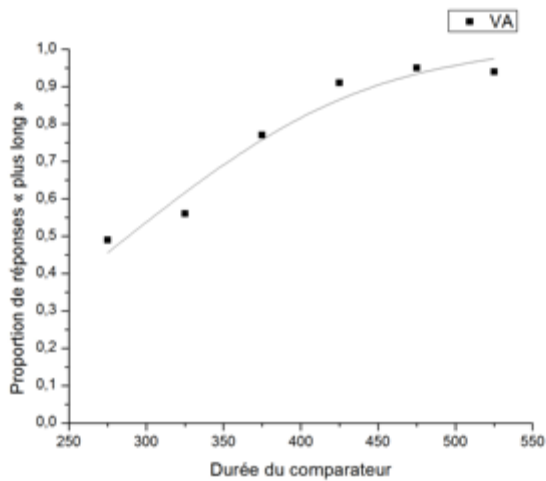


Figure 25. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois.

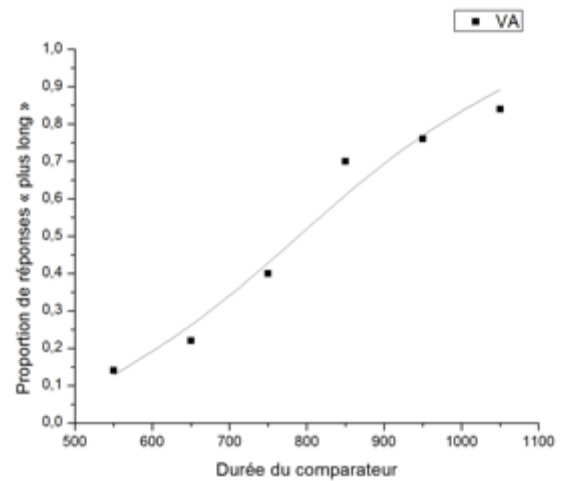


Figure 26. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VA quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois.

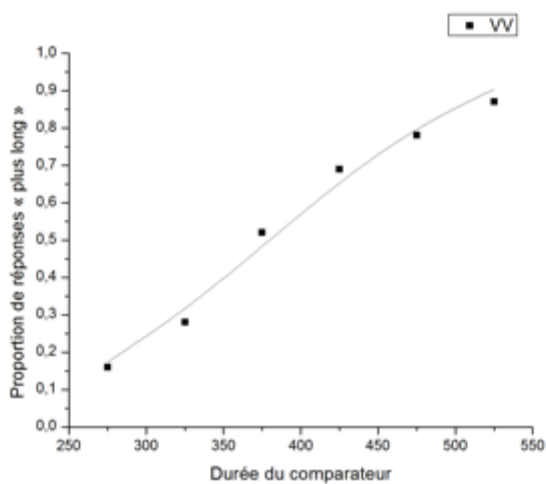


Figure 27. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 400 ms est présenté 3 fois.

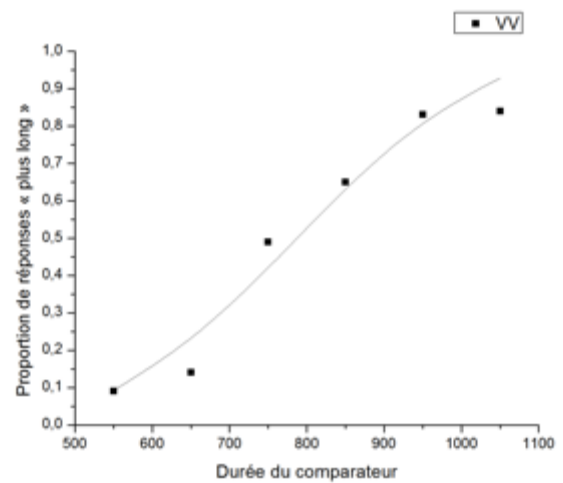


Figure 28. Moyenne des proportions de réponses « plus long » des participants retirés de l'analyse selon la durée du comparateur pour la condition VV quand le standard de 800 ms est présenté 3 fois.