

2014-2015

Master 1  
Psychologie

# **Attention spatiale et intermodalité : L'effet d'un indice sonore spatialisé sur la détection d'une cible visuelle dans le paradigme de l'effet tunnel**

**GILBERT Frédéric** ■

Sous la direction de M. BOUJON Christophe ■

Membres du jury  
M. BOUJON Christophe | MCF  
Mme. MENETRIER Emmanuelle | MCF

Soutenu publiquement le :  
27 mai 2015



**L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :**



- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

**Consulter la licence creative commons complète en français :**  
**<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/>**

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Christophe Boujon pour m'avoir guidé dans la rédaction de ce mémoire.

Je souhaite remercier tous les participants qui ont accepté de contribuer à ce travail.

Enfin, je remercie mes proches qui m'ont soutenu durant cette année et durant l'écriture de ce travail de recherche.

## Table des matières

Introduction .....	6
I. Repères théoriques .....	7
A. L'attention à l'interface de l'environnement et de l'individu .....	7
1. Comment l'individu « capte » son environnement ? .....	8
2. La sélection des informations environnementales .....	14
B. L'attention intermodale .....	17
1. L'orientation vers une modalité.....	18
2. Une dominance visuelle à nuancer.....	19
3. L'intermodalité dans l'attention spatiale .....	20
4. Les applications pratiques .....	22
C. Problématique .....	23
D. Hypothèse générale.....	23
E. Hypothèse opérationnelle .....	23
F. Variables indépendantes .....	24
G. Variables dépendantes .....	24
H. Variable contrôle .....	24
I. Conditions expérimentales .....	24
J. Plan expérimental .....	24
II. Méthode.....	24
A. Participants .....	24
B. Matériel.....	25
C. Procédure .....	26
III. Résultats .....	29
A. Moyennes brutes .....	29

1.	Effet de la validité .....	29
2.	Effet de la continuité .....	30
3.	Variabilité inter-individuelle.....	30
B.	Moyennes centrées-réduites .....	32
1.	Effet de la validité .....	32
2.	Effet de la continuité .....	33
C.	Analyses complémentaires .....	34
IV.	Discussion .....	35
	Bibliographie .....	42
	Livres .....	42
	Articles.....	42
	Sites internet .....	43

## Introduction

L'individu, doté de sens, est confronté dans sa vie quotidienne à une multitude de stimulations environnementales. Avec l'avènement des nouvelles technologies, cette question se pose d'autant plus car celles-ci apportent de multiples stimulations sensorielles multimodales. On pense notamment aux smartphones ou aux tablettes qui permettent d'intégrer des modalités visuelles, auditives et tactiles. Face à ces nouvelles technologies, on peut alors se demander si cette multimodalité est réellement efficace, si les nouvelles technologies apportent « un plus » dans la vie quotidienne et comment, ou bien si elles apportent un « trop plein » d'informations qui serait délétère pour la compréhension de l'individu quant à son environnement. Cette question fait écho à l'actualité des débats, par exemple, autour de la nécessité de généraliser l'utilisation du numérique à l'école. Ce tout numérique permet-il réellement une meilleure attention, une meilleure compréhension des élèves ?

Nous verrons grâce aux mécanismes attentionnels et perceptifs, comment les modalités sensorielles visuelles et auditives peuvent être traitées par l'individu. Plus précisément, nous verrons, à travers une expérience cognitive d'indicage spatial associé à l'effet tunnel, comment l'intermodalité audiovisuelle agit sur la sélection attentionnelle.

Concrètement, nous verrons si un mouvement auditif, une trajectoire sonore spatialisée dans un espace, peut aider à repérer la trajectoire partiellement cachée du stimulus visuel dans un tunnel et donc aider à repérer plus rapidement sa localisation finale.

Une première partie définira l'attention comme interface de l'environnement et de l'individu, avec une première question qui sera : comment l'individu capte son environnement ? Nous y répondrons avec les aspects physiques, sensoriels et perceptifs de chaque modalité étudiée. Nous verrons par la suite, face à ces stimulations environnementales, comment l'individu traite et sélectionne celle-ci à travers un bref historique de la recherche sur la sélection attentionnelle puis par la spécificité de la sélection visuelle et auditive. Une deuxième partie sera consacrée à l'attention intermodale où nous verrons plus spécifiquement l'implication des modalités étudiées dans l'attention, l'importance de la localisation spatiale, ses modèles théoriques ainsi que ses résultats empiriques, pour terminer sur ses applications pratiques. La quatrième partie sera consacrée à l'expérience proprement dite. Nous verrons la

méthode avec les participants, le matériel, la procédure. La cinquième partie sera consacrée aux résultats de l'expérience.

Enfin, nous terminerons avec une discussion afin de resituer les résultats dans le contexte historique scientifique, d'évoquer les limites de cette étude ainsi que son intérêt, pour ouvrir, enfin, sur de nouvelles perspectives de recherche sur ce thème.

Afin donc de comprendre un peu mieux les implications de l'intermodalité audiovisuelle dans l'attention grâce à notre expérience, nous émettrons comme hypothèse que la modalité auditive va influencer la perception de la modalité visuelle. Après opérationnalisation, notre hypothèse sera que lorsque l'indicage auditif est valide, le temps de réaction sera plus faible pour détecter la localisation d'arrivée du stimulus visuel et ce, quel que soit l'effet de continuité spatio-temporelle de la modalité visuelle.

## I. Repères théoriques

### A. L'attention à l'interface de l'environnement et de l'individu

« Une bonne part de notre efficacité cognitive découle directement de notre capacité à « faire attention » » (Lemaire, 2006, p. 69). L'intérêt pour les phénomènes attentionnels est en rapport avec un approfondissement du savoir théorique du fonctionnement cognitif mais aussi pour ses applications dans la vie quotidienne (Camus, 1996).

De nos jours, on parlera plutôt de processus, de mécanismes attentionnels, d'un système attentionnel cohérent avec une interdépendance des processus attentionnels (Camus, 1996). Ce système est également en interdépendance avec les autres fonctions supérieures : « l'attention s'exerce déjà au niveau de la perception et des réponses et elle s'exerce également au niveau de nos fonctions intellectuelles, cognitives. Elle consiste alors à donner un ordre d'importance, une priorité temporelle à nos idées, à nos opérations intellectuelles » (Boujon et Quaireau, 1997, p.6). On comprend donc ici l'intérêt des processus attentionnels dans l'intégration, dans le traitement des stimuli environnementaux et dans la perception de notre environnement. Il est à noter aujourd'hui que l'on peut différencier plusieurs formes d'attention : conjointe, maintenue, divisée et sélective ou focalisée (Boujon et Quaireau, 1997). Pour la suite, nous nous intéresserons à l'attention sélective et plus particulièrement à la sélection perceptive, mais avant de continuer à parler de sélection et d'attention sélective, voyons tout d'abord ce que nous entendons par la notion de perception.

## 1. Comment l'individu « capte » son environnement ?

L'interaction de l'individu et de son environnement s'articule autour de trois niveaux : le stimulus venant de l'environnement de nature physique, le processus sensoriel de nature physiologique qui joue un rôle de transduction et enfin la perception de nature psychologique (Delorme & Flückiger, 2003). Ces étapes ne s'effectuent donc pas de manière directe et uniforme. La connaissance, la conscience de notre environnement est donc dépendante de mécanismes physiques, physiologiques sensoriels et de mécanismes psychologiques. La représentation que nous pensons fidèle de notre environnement ne l'est finalement pas autant que l'on pourrait le penser (Lazorthes, 1999, cité par Delorme & Flückiger, 2003). Nous ne percevons donc pas « le réel » mais une réalité. L'argument que l'on pourrait donner face à cette constatation est celui des illusions perceptives quelles que soit les modalités. Effectivement, si notre représentation était fidèle, alors nous n'aurions pas de déformation, il n'y aurait pas d'erreurs ou alors elles seraient très vite corrigées (Weil-Barais, 1993).

Cette perception dont nous parlons, est-elle multimodale ou amodale ? Autrement dit, la réalité que nous percevons dépend-elle d'une sommation des modalités sensorielles où chaque sens à sa propre « réalité » ou bien est-ce une réalité unique accessible par différentes voies que sont nos sens ? Si l'on se réfère à la première idée, multimodale, comme James (1950, cité par Delorme & Flückiger, 2003) le pensait, alors, à la naissance, lorsque ses sens ne sont pas encore bien développés, le bébé ne peut pas avoir accès à « une » réalité mais plutôt à des bribes de réalité qui vont se rejoindre grâce au développement en vue d'une intégration de ces réalités pour n'en faire plus qu'une. Cette position a été critiquée notamment par Piéron (1955) et Gibson (1966) (cités par Delorme et Flückiger, 2003) qui ont considéré les sens, non plus comme des simples modalités réceptives, mais comme des modalités attentionnelles exploratrices. L'individu peut alors tirer des informations sensorielles d'une réalité unique, sans que le lien intermodal ne soit automatique. Cependant, les résultats d'études plus récentes sur la neurophysiologie cérébrale vont dans le sens de liaisons intermodales automatisées (Delorme & Flückiger, 2003). Nous reviendrons sur cette intermodalité par la suite après avoir défini la modalité visuelle et la modalité auditive que nous allons dès à présent définir.



## a) *La modalité visuelle*

### (1) Le stimulus physique

Ce qui parvient à l'œil, est une énergie physique : la lumière. La stimulation lumineuse peut provenir d'une source primaire mais aussi d'une source secondaire où la lumière est réfléchiée par des objets ou des surfaces. Cette lumière qui nous paraît blanche est en réalité une combinaison de plusieurs couleurs associées à des longueurs d'ondes différentes. Le spectre visible par l'homme se situe entre 380 et 770 nanomètres (Delorme et Flückiger, 2003).

### (2) L'organe sensoriel

Pour l'aspect anatomophysiologique, cette onde lumineuse va parvenir à notre organe sensoriel en traversant diverses structures (cornée, cristallin, humeur vitrée) pour arriver sur la rétine où la transduction du message va pouvoir se faire. L'analogie la plus souvent utilisée est celle de l'appareil photo, mais là où en photographie, l'image présente sur la pellicule est une copie de l'environnement, l'œil n'a pas pour fonction d'« imprimer » fidèlement ce qu'il lui parvient (Delorme et Flückiger, 2003). Au niveau de la perception, l'image d'une photographie fidèle et stable de l'environnement perd tout son sens. La lumière arrivée sur la rétine est donc transformée par les cellules transductrices (cônes pour les couleurs et bâtonnets pour les contrastes) en influx nerveux qui par le nerf optique, pourra parvenir au cerveau.

Les yeux sont souvent représentés comme étant fixes, alors que « *dans la réalité, les yeux ne sont jamais fixes, ils subissent constamment un mouvement de tremblement (le micronystagmus) essentiel à la perception visuelle* » (Delorme et Flückiger, 2003, p. 76). De plus, pour percevoir précisément une scène, l'œil va devoir alterner entre des saccades rapides et non perceptibles et des fixations. Cette exploration est à mettre en lien avec la fovéa (région où l'acuité est maximale) qui ne représente que 2° d'angle visuel. Autour de cette région, il existe un flou qui ne nous parvient pas et c'est en grande partie grâce à la grande mobilité des yeux (Delorme et Flückiger, 2003). Quand l'objet est fixé par l'œil dans sa région fovéale, cet objet peut être suivi même s'il est en mouvement. Cependant cette vitesse ne doit pas dépasser entre 60° et 80° d'angle visuel par seconde (Weil-Barais, 1993).

Bien que les humains possèdent une vision binoculaire, pourquoi alors ne voient-ils pas double ? Tout simplement parce que les images associées à chaque œil peuvent fusionner et tous les points situés sur le pourtour d'un cercle horizontal appelé « horoptère

longitudinal théorique » passant par les deux yeux et le sommet de l'angle de convergence devraient stimuler des points correspondants dans les deux rétines, et donc être vus simples (Delorme et Flückiger, 2003). L'humain possède donc un champ de vision monoculaire associé à chaque œil de 40° et un champ binoculaire de 120° soit un champ visuel total de 200° (Schiffman (1996) et Sekuler et Blake (1990), cité par Delorme et Flückiger, 2003). Voyons à présent ce qui relève de la perception visuelle.

### (3) Le niveau perceptif

Notre environnement ne nous semble pas être une masse informe. Nous percevons des couleurs, des formes, des objets, des personnes, de la profondeur, du mouvement... Concernant la perception dans l'espace, il est à noter qu'il comporte trois dimensions : l'horizontale, la verticale et la profondeur. La perception de l'horizontale et de la verticale semble se faire assez naturellement alors que la profondeur demande un traitement plus complexe. Il existe, pour l'observateur, deux catégories d'indices pour placer une forme, un objet dans un espace en deux dimensions : les indices proprioceptifs et les indices visuels (Weil-Barais, 1993).

Nous sommes non seulement capables de situer une forme, un objet dans un espace, mais aussi de percevoir le mouvement et des événements. Pour percevoir ce mouvement, il existe deux systèmes : le « système image-rétine » qui détecte les mouvements relatifs à la rétine et le « système œil-tête » qui concerne l'information relative au mouvement des yeux (Delorme et Flückiger, 2003). Il existe plusieurs types de mouvement notamment le mouvement apparent qui peut être créé par des successions d'images fixes (il s'agit donc d'une illusion de mouvement). Lorsque l'intervalle de temps est relativement long, il y a une perception d'alternance. Lorsque cet intervalle devient plus court, la perception d'alternance fait place à celle d'un mouvement fluide d'un objet unique (Delorme et Flückiger, 2003).

Nous avons des « schémas » de mouvement qui peuvent nous permettre de nous adapter à notre environnement. Par exemple, lorsqu'un objet fragile tombe de notre main (prenons un smartphone), et bien notre réflexe est de l'attendre, de vouloir le rattraper plus bas qu'il n'était. Cela ne nous viendrait pas à l'idée d'essayer de la rattraper vers le haut. Nous avons donc connaissance du mouvement que fait un objet qui tombe à cause de la gravité. Par contre, si celui-ci se mettait à « tomber vers le haut » cela créerait un « événement » car : *« Percevoir le mouvement, ce n'est pas seulement capter la direction et la vitesse d'un mobile qui traverse le champ visuel, c'est aussi réagir aux changements continus qui se produisent*

*dans l'environnement, et donc percevoir ce qu'on a appelé des « événements » » (Delorme et Flückiger, 2003, p. 343). Nous avons donc une certaine connaissance de la constance de certains mouvements. Cette constante a pu être étudiée grâce à Burke et Michotte (Burke, 1952 ; Michotte, 1946/1963, 1950 ; Michotte, Thinès, et Crabbé, 1964/1991, cité par Kawachi et Gyoba, 2006) qui ont initié le paradigme de l'effet tunnel qui a ensuite été repris dans des études plus récentes de Kawachi & Gyoba (2006). Dans ce paradigme, un objet se déplace progressivement et disparaît derrière un tunnel. Ensuite, cet objet réapparaît de l'autre côté de ce tunnel. Il est donc temporairement invisible. Néanmoins, les êtres humains perçoivent que l'objet qui est réapparu est identique à l'objet qui a disparu précédemment à condition qu'il y ait une continuité spatio-temporelle dans la trajectoire de cet objet. A noter que dans l'étude de Kawachi et Gyoba (2006), le temps de réaction des participants a été utilisé pour mesurer cette permanence de l'objet et l'étude a validé la pertinence de cette mesure.*

Après avoir vu ce qui caractérisait la modalité visuelle avec les propriétés de ses stimuli, de son appareil sensoriel et de sa perception, voyons à présent les caractéristiques de l'autre modalité sensorielle qui nous intéresse : la modalité auditive.

#### *b) La modalité auditive*

##### *(1) Le stimulus physique*

La physique nous apprend que le son est une vibration d'un milieu matériel (solide, liquide, gaz) (Weil-Barais, 1993). Le son a besoin d'un support matériel pour se propager et cette propagation se fait de proche en proche dans le milieu. Les vibrations deviennent alors des ondes (Delorme et Flückiger, 2003).

Cette onde peut être représentée par une sinusoïde caractérisée par une période exprimée généralement en millisecondes. De plus, trois paramètres la caractérisent : sa fréquence, son amplitude et sa phase de départ. La fréquence correspond au cycle d'oscillation par unité de temps et s'exprime en hertz (Hz). Les fréquences audibles pour l'humain sont comprises entre 20 et 16 000 Hz environ. L'amplitude qui est la valeur de la pression maximale permet de calculer l'intensité du son et nous renseigne perceptivement sur la sonie. Elle s'exprime habituellement en décibel (dB). La phase de départ correspond à « *la position de l'objet au moment où il commence à vibrer* » et s'exprime en degré. (Delorme et Flückiger, 2003, p. 171).

Il existe des sons purs et des sons complexes périodiques ou non. Ces premiers peuvent être décomposés en un ensemble de sons sinusoïdaux (ou harmoniques) avec une fréquence fondamentale. Les sons complexes non-périodiques sont quant à eux appelés des « bruits ». Ils peuvent être décomposés en un ensemble de sons purs sans être des multiples entiers d'une fondamentale. L'intérêt de ces sons purs en recherche est qu'ils répondent à un souci scientifique de simplification qui permet d'avoir affaire à des sons parfaitement définis, ce qui permet de parvenir à des faits reproductibles (Delorme et Flückiger, 2003).

Après avoir vu brièvement ce qui caractérisait le stimulus auditif, voyons comment il peut nous parvenir et comment il est traité par notre organe sensoriel.

## (2) L'organe auditif

Nos oreilles peuvent se diviser en trois secteurs : oreille externe, oreille moyenne et oreille interne. L'oreille externe qui comprend le pavillon ainsi que le canal auditif permet de capturer les sons et leur applique déjà une première transformation (« *une augmentation de l'amplitude pour certaines fréquences et en une diminution pour d'autres qui sont d'ailleurs différentes d'un individu à un autre et changent selon la direction d'où provient le son* (Blauert, 1997) » (Delorme et Flückiger, 2003, p. 137). Les oreilles étant séparées d'une distance, une source sonore unique ne sera pas perçue de la même manière par chaque oreille. Une fois arrivé au tympan qui va donc vibrer, le chemin se poursuit par l'oreille moyenne qui est une cavité remplie d'air à la même pression atmosphérique que l'air environnant et qui contient les plus petits os de l'être humain : les osselets. L'onde sonore redevient vibration pour faire vibrer ces osselets. Dans cette étape, des changements d'amplitudes sont également présents. Enfin, dans l'oreille interne la vibration va redevenir onde se propageant, non plus dans l'air, mais dans un liquide qui va animer la membrane basilaire qui s'enroule sur elle-même dans la structure en colimaçon de l'oreille interne dans laquelle se propage une onde transversale. Ces mouvements vont induire un codage d'influx nerveux ou *tonotopie* (Delorme et Flückiger, 2003) et un signal électrique va pouvoir être transmis au cerveau. Il est à noter que signal de départ a donc subi un grand nombre de changements de nature et d'amplitude pour qu'il soit perçu.

## (3) Le niveau perceptif

Au niveau perceptif nous ne parlons plus de fréquence, d'amplitude, etc. mais de sonie, de tonie et même de timbre. Globalement la sonie, ou force sonore correspond à la perception du volume sonore (si un son est fort ou faible). La tonie ou hauteur tonale (reliée à la

fréquence) nous renseigne sur les sons graves et aigus. Un son grave est associé à une basse fréquence et un son aigu à une haute fréquence (Weil-Barais, 1993). Enfin, le timbre correspond à « l'identité d'un son ». Autrement dit, pour une même note (même sonie, tonie, etc.), nous arrivons à reconnaître un violon d'un piano et à différencier les différentes voix qui nous entourent.

Cette perception auditive est un processus actif d'organisation des données sensorielles en unités sonores cohérentes pour donner une signification à notre environnement et cette organisation se réaliserait par des processus à la fois simultanés et séquentiels. Les processus simultanés renvoyant aux sons complexes, à la fusion de plusieurs sons et les processus séquentiels renvoyant à une succession d'événements acoustiques perçus comme présentant une continuité ou un flux sonore (Weil-Barais, 1993, p. 177).

Il semble y avoir une isomorphie dans les processus perceptifs puisque : « *Si les sons sont présentés trop éloignés, l'organisation en groupement n'est pas réalisée même si les fréquences sont semblables. La loi de bonne continuité mise en évidence en vision opère également dans la perception d'un flux sonore* » (Weil-Barais, 1993, p. 178) qui renvoie à la notion de mouvement apparent visuel citée plus haut.

#### (4) La spatialité du son et son induction

Elle diffère s'il s'agit d'une perception naturelle, au casque ou stéréophonique avec haut-parleurs. Contrairement à la vision où notre champ visuel est limité en tout premier lieu par la position anatomique de nos yeux, dans la perception spatiale naturelle, notre champ auditif est beaucoup plus vaste. L'auditeur peut être placé au centre d'un système de coordonnées polaires. Il peut percevoir une source sonore selon trois paramètres : un plan horizontal appelé « azimut » (ce qui va permettre de percevoir si un son vient de la gauche ou de la droite), un plan qui permet de positionner un son en « hauteur » qui est nommé élévation (si le son vient du dessus ou du dessous) et enfin un paramètre qui définit la distance de la source par rapport à l'auditeur (Delorme et Flückiger, 2003). On pourra donc spatialiser une source sonore en faisant varier ces paramètres artificiellement pour, par exemple, induire une position dans un casque audio.

Deux phénomènes peuvent être utilisés pour une spatialisation horizontale : la différence de temps interaural et la différence d'intensité interaurale. Le premier phénomène correspond au fait que « *quand la source sonore est déplacée du plan médian vers un des côtés de l'auditeur, le temps de propagation du son pour atteindre l'oreille éloignée est plus*

*élevé que celui pour atteindre l'oreille proche* » (Weil-Barais, 1993, p. 179). Cet effet naturel peut être reproduit grâce à un casque en instaurant un retard de présentation d'un même son entre les deux écouteurs (Hugonnet et Walder, 2012). Un retard sur l'écouteur gauche indique à l'oreille gauche que le son a mis plus de temps pour lui arriver et donc on a l'impression que ce son vient de la droite. Il y a donc la distance entre les deux oreilles qui est utile mais il y a également le fait que la tête peut faire obstacle entre ces deux oreilles. Il est également possible d'indiquer une différence d'intensité interaurale car l'intensité du son qui parvient à nos oreilles n'est pas toujours identique et la tête constitue un obstacle qui affaiblit l'intensité du son atteignant l'oreille la plus éloignée (Weil-Barais, 1993). Il suffit donc de faire varier le niveau d'intensité du même stimulus dans chaque oreille (Hugonnet et Walder, 2012).

La localisation dans le plan vertical est moins précise que dans le plan horizontal. La direction est imposée par la fréquence centrale de certaines zones spectrales. Les signaux autour de 8 kHz semblent venir du haut ; de 1 kHz semblent venir de l'arrière ; de 3 kHz et les fréquences basses semblent venir de face (Hugonnet et Walder, 2012).

Maintenant que nous avons défini les deux modalités qui vont nous intéresser et avant de voir le lien qu'elles peuvent entretenir avec l'attention sélective, abordons tout d'abord ce que l'on entend par attention sélective.

## 2. La sélection des informations environnementales

### a) *Bref historique*

*« L'attention sélective est impliquée dans les nombreux actes quotidiens qui nécessitent de faire attention à certaines informations et d'ignorer les autres »* (Maquestiaux, 2013, p. 38). On comprend ici qu'il est question pour l'individu d'être en capacité, d'après un flux environnemental, de sélectionner des informations et d'en inhiber d'autres. Les premiers travaux sur ce type d'attention réalisés par Broadbent (1958) l'a conduit à postuler l'existence d'un filtre sélectif précoce placé juste après les traitements perceptifs et avant une analyse sémantique (cité par Lemaire, 2006). Ce filtre permettrait donc de sélectionner une seule information sensorielle pertinente qui pourra faire l'objet d'un traitement à un plus haut niveau pour lui donner un sens. L'un des plus célèbres paradigmes associé à ce modèle fut l'écoute dichotique où *« la tâche du sujet consiste à répéter le message d'une oreille tout de suite après l'avoir entendu même si un autre message défile simultanément dans l'autre oreille »* (Lemaire, 2006, p.71). Les résultats ont pu montrer qu'effectivement, les sujets étaient en général capables de rappeler ce message et donc de se focaliser, de ne sélectionner

uniquement la modalité auditive demandée. De plus, les études de Sperling (1960) ont pu indiquer que les informations sont davantage sélectionnées sur la base de leurs propriétés physiques par rapport à leurs propriétés sémantiques (citées par Maquestiaux, 2013).

Malgré cette validité apparente, quelques années plus tard, Treisman (1964) a montré que des sujets sont capable de répéter le contenu sémantique d'un message envoyé dans l'oreille secondaire (cité par Lemaire, 2006, p.72). La théorie de Broadbent selon laquelle la sélection serait précoce et que seule l'information retenue pourrait faire l'objet d'un traitement sémantique est donc mise à mal. Face à ces nouveaux résultats, Treisman va alors proposer un nouveau modèle basé sur l'atténuation. Comme Broadbent, la sélection se fait de façon précoce, juste après l'arrivée des stimuli perceptifs, mais le filtre laisse passer plus d'informations, il n'exclut pas. Finalement, là où le filtre de Broadbent est à l'image d'un mur plein comportant une seule porte d'entrée, le filtre de Treisman est plus un maillage qui va laisser passer moins d'informations (Lemaire, 2006).

D'autres auteurs tels que Deutsch et Deutsch (1963) (cités par Maquestiaux, 2013), ont proposés une sélection tardive. Leur idée est que le filtre sélectif se trouve après l'analyse sémantique et que donc toutes les informations peuvent bénéficier d'un traitement à haut niveau avant la sélection qui se situe juste avant la réponse de l'individu. Des auteurs plus récents tels que Lachter, Forster, & Ruthruff (2004) (cités par Maquestiaux, 2013) reconsidèrent le modèle de Broadbent et ajoute l'idée que les informations rejetées ne doivent pas être attendues.

Ces différents modèles basés sur un goulot d'étranglement placé avant ou après les perceptions n'ont pas trouvé de consensus. Ce qui a conduit à reconsidérer cette sélection par le niveau de contrôle qu'a le sujet ainsi que sur la quantité d'effort mental nécessaire pour réaliser une tâche. Globalement, l'individu possède un réservoir de capacité attentionnelle qu'il va pouvoir contrôler afin d'attribuer plus ou moins de ressources en fonction de la tâche (Reed, 2011). Kahneman (1973) (cité par Reed, 2001) a proposé un modèle en termes de capacité de traitements. Outre les niveaux d'activation qu'il introduit pour faire varier le volume de capacité, le point intéressant qu'il introduit est le fait que le choix des activités à favoriser est le fruit de deux influences : « *les dispositions permanentes (influence automatique qui oriente elle-même l'attention) qui reflètent les règles de l'attention involontaire [...]* et *les intentions temporaires (décision consciente d'attribuer de l'attention à certaines tâches ou certains aspects de l'environnement) qui reflètent nos objectifs*

*spécifiques* » (Reed et Verhasselt, 2011, p. 69). On constate donc ici, une dichotomie entre une attention volontaire et involontaire.

Les travaux de Johnston et Heinz (1978) (cités par Reed et Verhasselt, 2011) ont quant à eux, permis d'associer les deux conceptions : le goulot d'étranglement qui peut se situer soit de façon précoce, soit de façon tardive et l'attribution de capacité. Ce qui redonne une flexibilité à l'attention sélective. La théorie multimodale où les intentions ainsi que les exigences de la tâche déterminent l'étape de traitement qui sélectionne l'information (Reed et Verhasselt, 2011) de ces deux auteurs prône l'idée que le volume de capacité dépend de la temporalité de la sélection. Une sélection tardive demande donc plus de capacité. Effectivement, si l'on se rapporte au fait que la sélection tardive intervient après l'analyse sémantique, on comprend alors qu'il faut plus de capacité à sélectionner des informations de haut niveau que de bas niveau arrivant juste après l'analyse sensorielle.

La nature de la tâche influence donc l'allocation de capacités attentionnelles en lien avec le moment de la sélection. Mais outre sa nature, il y existe également un impact de sa fréquence. Lorsqu'une tâche est répétée, routinière, elle ne nécessite plus qu'une petite quantité de capacité et on parle alors de traitement automatique. Une tâche est automatisée si elle se produit sans intention, elle ne provoque pas de prise de conscience et si elle n'interfère pas avec les autres activités mentales (Reed et Verhasselt, 2011). Un individu est donc capable de sélectionner et cette sélection n'est pas fixée. L'attention sélective est flexible et plusieurs facteurs, entre autres, peuvent la faire varier : la nature de la tâche, sa fréquence et le niveau de contrôle que peut avoir l'individu...

Voyons à présent comment intervient l'attention sélective pour les deux modalités visuelles et auditives lorsqu'elles sont concomitantes. Quels impacts ont ces modalités sur cette attention. Et quelle place occupe chacune d'elles.

#### *b) La sélection auditive et visuelle*

Dans la modalité auditive, c'est la tâche de filature qui a été le plus souvent utilisée. Outre son utilisation pour définir l'endroit du goulot d'étranglement, Treisman en 1964 a mené une expérience de filature dans laquelle deux messages ont été présentés dans chaque oreille, mais avec une différence d'intensité interaurale indiquant alors des localisations spatiales différentes pour ces deux messages. La performance de filature a été excellente et donc la sélection attentionnelle est très efficace lorsqu'elle est fondée sur la localisation spatiale de la stimulation (cité par Delorme et Flückiger, 2003). On retrouve cette même incidence de la



localisation dans la modalité visuelle notamment dans les travaux de Von Wright (1968, 1970) (cités par Delorme et Flückiger, 2003) avec la tâche de rapport partiel.

La localisation est donc une caractéristique essentielle pour étudier la sélection attentionnelle perceptive par l'utilisation du paradigme d'indication spatiale qui permet de donner au sujet une information préalable sur une propriété particulière d'une cible présentée ultérieurement pour qu'il puisse orienter son filtre attentionnel afin de présélectionner la cible avant même qu'elle soit présentée (Delorme et Flückiger, 2003). L'indice peut être central et indiquer la direction supposée de la cible ou être périphérique et être placé à l'endroit supposé de la cible. De plus, cet indice peut être soit valide (indiquer la bonne position), soit invalide (indiquer une autre direction). En modalité visuelle, ce paradigme a très souvent été utilisé. On peut noter, dans la grande majorité des cas qu'il y a un effet facilitateur de l'indication valide (sauf dans les phénomènes d'inhibition de retour que nous ne développerons pas ici) (Delorme et Flückiger, 2003). En comparaison, peu d'études ont été réalisées sur la modalité auditive car les recherches se sont orientées plutôt sur des tâches visuelles d'indication spatiale.

Dans ce paradigme d'indication spatiale, les réponses sont souvent associées aux temps de réaction que met le sujet pour détecter la cible. Ce temps de réaction est défini comme « *le moment qui s'écoule entre la présentation du stimulus et le début de la réponse. Il est une mesure très sensible du comportement des sujets placés dans des situations de discrimination, voire même de détection* » (Weil-Barais, 1993, p. 126). Il existe deux types de temps de réaction : le temps de réaction simple qui « *consiste à presser et relâcher une clé dès que le sujet détecte un stimulus* » et le temps de réaction de choix où le sujet doit appuyer par exemple sur plusieurs clés (une pour chaque cible à détecter par exemple) (Ibid., p. 126).

Maintenant que nous avons décrit les modalités qui vont nous intéresser, la sélection attentionnelle, l'importance du critère de localisation et du paradigme pour les étudier, nous proposons de comprendre comment ces modalités interagissent. Pour cela, nous aborderons la notion d'intermodalité ou *crossmodality* en anglais dans les études récentes sur ce sujet.

## B. L'attention intermodale

Il a été démontré qu'une stimulation bimodale n'a pas un caractère additif mais multiplicatif et une réponse neuronale faible à une stimulation visuelle peut être amplifiée jusqu'à 12 fois si elle est déclenchée par un stimulus bimodal (visuel et auditif). De plus, des stimuli qui coïncident spatialement facilitent une augmentation des réponses (Delorme et Flückiger, 2003). Aujourd'hui il semble être établi que dès le début de la vie chez l'animal et

l'homme, une certaine unité de sens est présente et fonctionnelle. Cela indique la capacité des individus à capter avec leurs différentes modalités, des régularités dans leur environnement (Delorme et Flückiger, 2003). Par exemple, chez les bébés on a pu noter très tôt une capacité à apparier des scènes visuelles et des sons (Bahrick, 1987, cité par Delorme et Flückiger, 2003). Un exemple simple est le fait par exemple que les bébés sont déjà capables d'associer le mouvement des lèvres aux sons produits (Kuhl et Meltzoff (1982), cité par Delorme et Flückiger, 2003). Néanmoins cette intégration n'est pas tout de suite parfaite et elle s'améliore grâce aux « *facteurs extrinsèques à la perception tels que la maturation des structures cérébrales, l'expérience multimodale, la maîtrise des médiateurs symboliques et, plus spécifiquement, des médiateurs linguistiques, etc., ou du développement des systèmes périphériques...* » (Delorme et Flückiger, 2003, p. 217). L'intermodalité visuo-auditive nous intéressant plus particulièrement, il est à noter que la majorité des cas vont dans le sens d'une dominance visuelle. De nombreux résultats vont dans ce sens, néanmoins un bémol est à rajouter à cette affirmation.

## 1. L'orientation vers une modalité

Spence (2010) rappelle que les recherches sur l'attention ont traditionnellement considérées la sélection comme une compétition d'entrées mono-sensorielles, le plus souvent visuelles. Les deux dernières décennies ont vu un accroissement d'intérêt sur l'existence et la nature des contraintes intermodales dans notre capacité à sélectionner une modalité particulière, une localisation spatiale, un événement ou un objet (Spence & Driver, 2004, cité par Spence, 2010). Aujourd'hui les interactions intermodales dans l'attention ont été démontrées dans la plupart des combinaisons entre les stimuli visuels, auditifs, tactiles, olfactifs, gustatifs et même douloureux (Calvert, Spence, Stein, 2004, cité par Spence, 2010).

Dans un premier temps les chercheurs ont cherché à comprendre comment l'individu pouvait orienter son attention vers une seule modalité sensorielle au détriment des autres. De nombreuses études ont été réalisées et parmi le grand corpus de résultats, on peut relever six grandes tendances :

1 - Les individus trouvent plus facile le fait de diviser leur attention entre des tâches présentées dans des modalités différentes plutôt que dans une même (Hancock et al., 2007 ; Lavie, 2005 ; Proctor & Proctor, 1979 ; Sarter, 2007 ; Treisman & Davis, 1973 ; Wickens, 1992, 2008, cité par Spence, 2010) ;

2 - Les coûts associés à l'orientation vers une mauvaise modalité semblent être plus grands que les avantages associés à l'orientation vers une modalité demandée (Alais et al., 2006 ; Spence et al., 2001a, à voir également Bonnel & Hafter, 1998, cité par Spence, 2010) ;

3 - Les coûts de l'attention divisée sont plus susceptibles d'être observés dans des tâches d'identification/discrimination que dans les tâches avec une simple détection (Bonnel & Hafter, 1998 ; Eijkman & Vendrik, 1965 ; Hein et al., 2006, cité par Spence, 2010) ;

4 - Les tâches qui nécessitent une réponse rapide de la part de l'individu sont susceptibles de montrer de plus grands effets de l'orientation attentionnelle vers une modalité par rapport à des tâches qui ne nécessitent pas de réponses rapides (Spence et al., 2001a ; voir également Spence & Parise, 2010, cité par Spence, 2010) ;

5 - Les effets attentionnels intermodaux sont plus susceptibles d'être observés lorsque les individus sont face à des attributs de hauts niveaux, comme l'identité sémantique des stimuli (Treisman & Davies, 1973 ; voir aussi Larsen, McIlhagga, Baert & Bundesen, 2003, cité par Spence, 2010) plutôt qu'à des attributs de plus bas niveaux ;

6 - Les coûts de l'attention divisée semblent être plus prégnants pour des cibles auditives plutôt que pour des cibles visuelles.

Des corrélats neuro-anatomiques ont été constatés en rapport avec ces conclusions. Des études ont mis en évidence une activation accrue de la zone corticale pour la modalité demandée et une suppression de l'activité cérébrale dans la zone corticale de la modalité à ignorer (Johnson & Zatorre, 2005, 2006 ; Kawashima, O'Sullivan & Roland, 1995 ; Kawashima, Imaizumi, Mori, Okada, Goto, Kiritani, Ogawa & Fukuda 1999 ; Macaluso, Frith & Driver 2002a ; Roland, 1982, cité par Spence, 2010).

## 2. Une dominance visuelle à nuancer

Dans notre expérience, nous allons étudier les effets intermodaux entre la vision et l'audition. Spence (2010) rappelle que dans de nombreuses études et tâches, il a été démontré que la modalité visuelle dominait toutes les autres, notamment l'audition. De célèbres résultats illustrent cela : l'effet ventriloque (Bertelson & Aschersleben, 1998 ; Bertelson et de Gelder, 2004, cités par Spence, 2010) et l'effet McGurck (interférence entre la vision d'un individu qui prononce le phonème par exemple /ga/ et la bande sonore associée où l'on entend /ba/, ce qui entraîne la perception d'un troisième phonème par exemple /da/) (Alsus et al., 2005 ; McGurck et MacDonald, 1976, cité par Spence, 2010).

Ce constat est cependant à nuancer. Il existe bien généralement une dominance de la vision sur l'audition mais cela n'est vrai que dans des tâches de jugement de localisation spatiale. Dans des tâches de temporalité, c'est la modalité auditive qui module la vision (Lukas, Philipp et Koch 2014). Des théories actuelles, concernant cette domination sensorielle, indiquent que le sens qui domine dans une situation dépend de la variance associée à chaque estimation perceptive (Ernst et Banks, 2002, cité par Spence, 2010). Nous avons tendance à combiner, unifier des stimuli qui sont présentés sur la même localisation spatiale (Gepstein et al., 2005 ; voir également Helbig et Ernst, 2007, cités par Spence, 2010).

### 3. L'intermodalité dans l'attention spatiale

#### a) Modèles théoriques

De nombreux modèles ont été proposés pour représenter les liens intermodaux dans l'attention spatiale. Quatre modèles principaux ont été proposés et ils renvoient également aux conceptions généralement opposées sur le fonctionnement du cerveau humain : celles fonctionnelles (visions plutôt systémiques, avec des effets de causalité, de relation et où « *un état mental particulier est déterminé par les relations que cet état mental entretient avec d'autres états mentaux* » (Bertrand et Garnier, 2005, p. 36) et plus ou moins modulaires (visions initiées notamment par Fodor (1986) qui postulent un fonctionnement compartimenté, par « boîtes » indépendantes associées chacune à une capacité de l'individu.

Dans son article de 2010, Spence précise que Hancock, Oron-Gilad & Szalma (2007) ; Wickens (1992, 2008) proposent un modèle purement modulaire où des ressources attentionnelles sont spécifiques à chaque modalités, elles-mêmes, indépendantes les unes des autres. Eimer & Van Velzen (2002) ; Farah et al. (1989) proposent un modèle fonctionnel où un système supramodal associe toutes les modalités dans lequel l'individu ne peut donc pas diviser son attention entre les modalités. Ferlazzo, Couyoumdjian, Padovan i& Berlardinelli (2002) ; Spence & Driver (1996) proposent quant à eux, un modèle intermédiaire où chaque modalité est spécifique mais celles-ci peuvent-être reliées. Enfin, Posner (1990) a proposé un modèle hybride où un système supramodal gère des systèmes plus « petits », indépendants et spécifiques aux modalités.

De nos jours, des recherches sur les corrélats neuro-anatomiques ont été menées afin d'expliquer les mécanismes cérébraux qui sous-tendent l'attention spatiale intermodale. Ces études ont pu être menées grâce à l'avancée technologique d'analyse du fonctionnement

cérébral (IRMf, TEP, etc.). On retrouve chez ces auteurs, une conception fonctionnaliste ou modulariste.

Par exemple Eimer & van Velzen (2002) ; Macaluso, Frith & Driver (2002b) (cités par Spence, 2010) soutiennent l'idée qu'il existe un système supramodal qui contrôle l'attention spatiale avec des zones de convergence multisensorielles. D'autres auteurs tels que Chambers, Stokes & Mattingley (2004) (cités par Spence, 2010) sont en faveur de processus spécifiques à chaque modalité qui peuvent être activés en synchronie mais qui surtout sont indépendants au niveau anatomique.

#### *b) Résultats empiriques récents*

Plusieurs résultats empiriques sur les liens intermodaux dans l'attention spatiale appuient certains de ces modèles. En attention endogène, il a par exemple été démontré que si les individus orientent volontairement leur attention vers une localisation particulière dans une modalité, les autres modalités auront tendance à suivre de façon réduite la même localisation (Spence et Driver, 2004, cité par Spence, 2010). Ces résultats vont dans le sens du modèle où les modalités sont relativement indépendantes mais reliées entre-elles.

D'autres études récentes ont pu démontrer un effet de la modalité auditive sur la modalité visuelle. Par exemple, Meyer & Wuerger (2001), dans une expérience avec un mouvement auditif associé à des mouvements de points visuels, ont démontré que « *la présence d'un mouvement auditif intensif introduit un biais dans la perception du mouvement visuel dans la direction du mouvement auditif* ». De même, Alink, Euler, Galeano, Krugliak, Singer & Kohler (2012) ont pu relever que « *la direction d'un mouvement auditif peut biaiser la direction de la perception d'un mouvement visuel quand celui-ci est ambigu* ». Ils ont de plus observé que cet effet ne se répercutait pas au niveau des mouvements oculaires mais bien à un niveau perceptif. Ces auteurs expliquent de plus que cela serait en accord avec des résultats neurophysiologiques qui indiquent que les mouvements auditifs affectent l'activation du cortex visuel (on se rapproche ici des visions plutôt fonctionnalistes).

Les stimuli auditifs pourraient donc bien influencer les stimuli visuels. Mais qu'en est-il de l'indicage ?

L'attention exogène a beaucoup été étudiée grâce au paradigme classique dans lequel l'indice et la cible peuvent être de modalité différente. Même s'il était demandé aux participants de ne pas faire attention aux indices, il a été démontré qu'il existe un effet facilitateur de l'indice quelles que soient les modalités des stimuli (Spence, Lloyd, McGlone,

Nicholls & Driver 2000b, cité par Spence, 2010). Cet effet a même été démontré dans des conditions où la modalité de l'indice ne relevait absolument pas de la tâche assignée au sujet (des indices auditifs présentés en amont d'une tâche visuelle) (Spence, 2001, cité par Spence, 2010).

Hidaka, Teramoto, Gyoba & Suzuki (2010) ont remarqué qu'un changement concernant un son (par exemple, une augmentation de fréquence) peut renseigner par la suite un changement du stimulus visuel lorsque les deux sont associés et dans un même mouvement. Wuerger, Meyer, Hofbauer, Zetsche & Schill (2010) quant à eux, ont observés que dans une tâche d'estimation de la localisation spatiale de l'endroit d'arrivée du stimulus en mouvement, quand les sujets sont dans une condition bimodale, audiovisuelle, ils sont en capacité de prédire plus précisément la localisation d'arrivée d'un objet plutôt que dans une condition unimodale. Cependant, il y a quand même un effet de la vitesse car on observe un décalage temporel dans la prédiction de la cible en fonction de cette vitesse.

Spence, Pavani & Driver (2004) se sont intéressés à la congruence intermodale en faisant varier des paramètres de hauteur entre la modalité visuelle et tactile. Ils ont pu démontrer qu'il existe un fort effet de congruence intermodale par indicage fiable, en particulier, entre la vision et le toucher. Autrement dit, quand l'objet visuel et tactile sont présentés dans la même localisation spatiale et en même temps, la congruence est maximale.

Il y a donc intérêt maintenant à travailler avec un espace en trois dimensions (Spence, 2010). Cette idée est reprise notamment dans l'article de Van der Stoep, Nijoboer, Van der Stigchel (2014) où ils expliquent qu'il faut travailler en intermodalité avec les autres plans de l'espace (profondeur, devant et derrière l'observateur...).

#### 4. Les applications pratiques

Cette recherche sur l'attention intermodale peut avoir de nombreuses applications dans la vie quotidienne. Cela peut aider à fournir des lignes directrices pour faciliter la conception d'interfaces multimodales ou multisensorielles (Ferris & Sarter, 2008 ; Sarter, 2007 ; Spence & Ho, 2008, cités par Spence, 2010). On pense aussi à la sécurité routière avec le problème d'une discussion téléphonique associée à la conduite (voir Driver & Spence, 2004 ; Ho & Spence, 2008, cité par Spence, 2010) ou à la conception de signaux d'alerte non visuels plus efficaces (voir aussi Ho & Spence, 2009, cité par Spence, 2010).

## C. Problématique

Nous avons vu qu'il existe une intermodalité dans l'attention. Cette attention intermodale s'exprime d'autant mieux qu'elle est associée à une localisation spatiale. Pour étudier cette attention spatiale intermodale, nous pouvons nous appuyer sur un paradigme d'indicage spatial. Il est intéressant d'étudier l'effet de la modalité auditive sur la modalité visuelle pour nuancer la dominance visuelle, décrite dans les premières recherches du domaine.

Cette modalité visuelle jouait un rôle important dans le paradigme de l'effet tunnel initié notamment par Burke (1952) et Michotte (1946/1963, 1950) et repris par la suite par Kawachi & Gyoba (2006). Les études récentes tendent à démontrer un impact possible du stimulus auditif sur le stimulus visuel (Meyer & Wuerger, 2001 ; Alink et al. 2012). Les stimuli auditifs pourraient donc bien influencer les stimuli visuels. De plus, Hidaka et al. (2010) Wuerger et al. (2010) ainsi que Spence (2010) ont pu démontrer dans leurs travaux qu'il pouvait y avoir un effet d'indicage auditif sur la modalité visuelle et que celui-ci serait bénéfique. Enfin, Spence et al. (2004) ainsi que Van der Stoep et al. (2014) ont insisté sur le fait d'étudier cette attention spatiale intermodale dans différents plans de l'espace.

Il nous paraît dès lors, intéressant de reprendre le paradigme de l'effet tunnel, qui implique un effet de continuité spatio-temporelle majeur dans le mouvement d'un objet visuel et de lui associer la présence d'indices issus de la modalité auditive, sous forme donc, de trajectoires dans les plans horizontal en congruence spatiale.

L'objectif serait alors d'observer si un indice auditif spatialisé, permet de prédire efficacement la localisation finale de réapparition de ce stimulus visuel lorsque celui-ci a disparu dans un tunnel.

Notre problématique est alors d'observer si dans l'étude de l'attention intermodale auditivo-visuelle, la modalité auditive permet d'influencer la modalité visuelle.

## D. Hypothèse générale

La modalité auditive va permettre d'influencer la détection visuelle d'objets en mouvement.

## E. Hypothèse opérationnelle

Un indicage valide va permettre de détecter plus rapidement la localisation finale du stimulus visuel par rapport à un indicage non-valide et ce, quelle que soit la continuité ou la

discontinuité de la trajectoire de ce stimulus visuel. Dans notre expérience, cette continuité correspond à une trajectoire rectiligne, et la discontinuité à une trajectoire oblique. Les temps de réaction seront diminués lors des conditions de validité de l'indicage auditif (Valide/Continu et Valide/Discontinu).

## F. Variables indépendantes

La Continuité Spatiale de la cible à 2 modalités : {Continue ; Discontinue}

La Validité de l'indice à 2 modalités : {Valide ; Non-valide}.

## G. Variables dépendantes

Le temps de réaction de chaque sujet à chaque condition où la cible apparaît.

## H. Variable contrôle

La non-présentation systématique de la cible visuelle pour exclure la possibilité, aux sujets, de répondre toujours par un appui.

## I. Conditions expérimentales

En sachant que la source peut partir de 4 endroits : HG (Haut Gauche), BG (Bas Gauche) avec une direction gauche/droite et HD (Haut Droit) et BD (Bas Droit) avec une direction droite/gauche, que les trajectoires peuvent être continues ou discontinues, et en ajoutant la variable contrôle de non-présentation de la cible, nous avons donc un total de 24 conditions à tester (4 positions de départ ; 3 réapparitions possibles : continue, discontinue, non-apparition ; 2 conditions pour l'indice sonore : valide et non-valide). Chaque condition sera présentée 20 fois de manière aléatoire ce qui fera un total de 480 essais. La variable contrôle concerne un tiers des essais.

## J. Plan expérimental

$$S_{13} * C_2 * V_2$$

# II. Méthode

## A. Participants

Un total de 13 participants ont passé l'épreuve dont 6 filles et 7 garçons avec un âge moyen de 24,7 années (e.-t. : 5,31). 11 participants sont étudiants à l'université d'Angers et 2 sont ont quitté l'université il y a moins de 2 ans et ont un niveau d'étude de trois années après le bac. Le critère d'exclusion était des problèmes de vue ou auditifs non corrigés.



## B. Matériel

Nous sommes partis de l'étude de Kawachi et al de 2006 qui ont utilisé le paradigme de l'effet tunnel. Ces auteurs pour leur étude, au niveau du matériel, ont pris les mesures suivantes : le carré (stimulus visuel) fait 0,43 x 0,43 deg (degré visuel), le tunnel fait 5,8 x 1,3 deg, la discontinuité spatiale fait 1,5 deg, la vitesse de défilement du stimulus est de 5,64 deg/s et enfin un point de fixation est placé à 0,27 tantôt à gauche, tantôt à droite dans le tunnel.

Pour l'expérience que nous souhaitons faire, nous sommes parti de l'équation :  $\alpha = (T \cdot 57,3)/d$ . Dans cette équation on a  $\alpha$  qui correspond au degré visuel (que l'on peut rapporter au radian...) ; T qui correspond à la taille réel de l'objet perçu ; 57,3 qui correspond à « représente la distance standard (en cm) depuis laquelle 1cm mesure 1 deg » et d qui correspond à la distance entre l'objet et son observateur.

Dans l'expérience de Kawachi et al, on a l'« alpha » (cités ci-dessus) et la distance de l'observateur face aux stimuli (172 cm). Pour cette expérience, afin de trouver les centimètres exacts pour les figures, nous allons prendre une distance de 70 cm (distance entre l'observateur et l'écran). Ainsi, pour une distance donc de 70 cm, nous construisons un carré de 0,53 x 0,53 cm, un tunnel de 7,1 x 1,6 cm, une discontinuité spatiale que nous avons changée pour cette expérience afin qu'elle « se voit plus » de 1,8 cm (ce qui donne 5,7 deg au lieu des 1,5 de Kawachi et al, 2006), une vitesse de 6,9 cm/s que nous avons, par la suite, divisée en 5 afin d'avoir des « étapes » à 200 ms pour mimer le mouvement et donc entre chaque carré, il y a une distance de 1,38 cm. Nous avons également changé le point de fixation pour le transformer en une croix toujours présente au centre. Nous avons utilisé un fond noir de 20 x 20 cm afin de palier au problème de fatigabilité visuelle avec un fond blanc. Des images ont également été créées afin de représenter par une flèche blanche sur fond noir les trajectoires sonores présentées lors de l'entraînement auditif.

Pour les sons, nous avons généré un bip sonore de 200 ms à 440 Hz (200 ms qui correspondent aux « étapes »). Ces bips sont positionnés dans l'espace grâce à la version d'essai d'un plug-in dans Audacity (éditeur sonore open source) qui s'appelle Panorama© issu de l'éditeur Wave Art Inc :



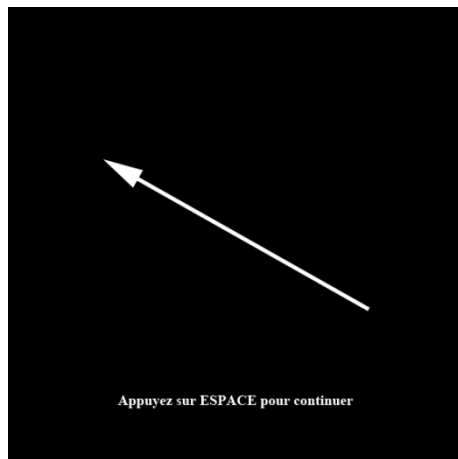
Figure 1 : Interface du plug-in Panorama pour positionner des sons dans l'espace

Grâce à ce logiciel, nous avons pu paramétrer l'azimut et l'élévation de nos stimuli sonores tout en gardant une distance (profondeur) constante puisque nous n'avons pas varié ce paramètre. Par la suite, avec Audacity, ces différents sons de 200 ms ont été assemblés afin de réaliser des trajectoires sonores d'une durée totale de 1800 ms. Les images et les sons sont assemblés grâce au logiciel Windows Movie Maker en vidéo (ce qui va, en réalité, représenter les conditions). Les vidéos ont une durée totale de 2800 ms car la cible à la fin reste à l'écran pendant une seconde afin de calculer par la suite, dans le logiciel OpenSesame (logiciel libre pour la création d'expériences cognitives), le temps de réaction pour la détection de celle-ci.

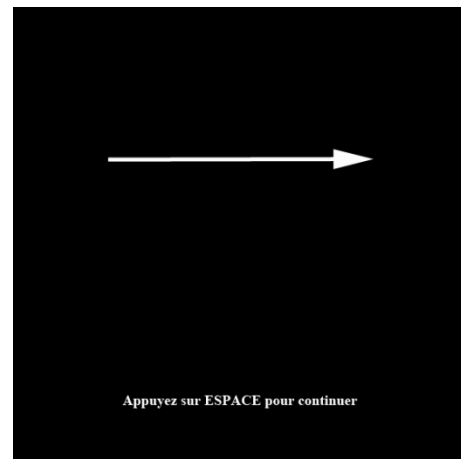
### C. Procédure

La passation s'est déroulée à l'université d'Angers dans une salle multimédia. Elle s'est déroulée de manière collective et les participants étaient face à un écran (à 70 cm) et portaient un casque audio. Ils avaient à portée de main un clavier afin de répondre.

Dans un premier temps, un entraînement auditif constitué de 32 essais est présenté aux participants. Des images représentant ces trajectoires par des flèches sont présentées à l'écran en même temps pour que les participants se représentent bien les différentes trajectoires sonores :



*Figure 2: Représentation à l'écran de la trajectoire sonore  
Bas-Droit vers Haut-Gauche*



*Figure 3: Représentation à l'écran de la trajectoire sonore  
Haut-Gauche vers Haut-Droit*

Pour l'expérience en elle-même, le participant est face à l'écran, placé à 70 cm avec un casque sur les oreilles. Il voit le mouvement d'un carré (qui peut partir soit en haut à gauche ; en haut à droite ; en bas à gauche ; en bas à droite) indiqué par 4 « étapes » espacées de 200 ms qui va ensuite disparaître dans un tunnel. Associé à ce premier mouvement, un son congruent indiquant la même direction pris par le carré est présenté. Une fois le carré disparu dans le tunnel, la trajectoire sonore continue. Ensuite, trois possibilités : le carré réapparaît (à la fin de la trajectoire sonore et donc à la fin de son mouvement supposé) selon une continuité spatiale et avec en auditif un indice valide (indique la direction prise par le carré) ou non valide ; il réapparaît (en fin de mouvement) selon une discontinuité spatiale et avec en auditif un indice valide) ou non valide ; le carré ne réapparaît pas et l'observateur n'a donc pas à appuyer :

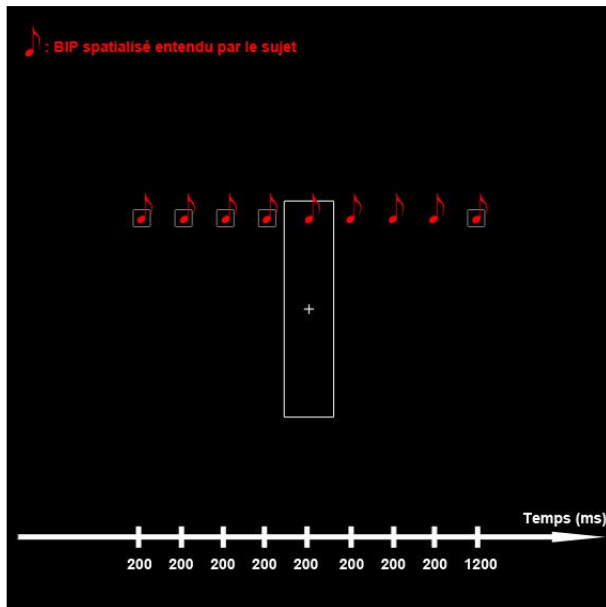


Figure 4 : Procédure pour la condition Continu-Valide avec un départ en Haut-Gauche

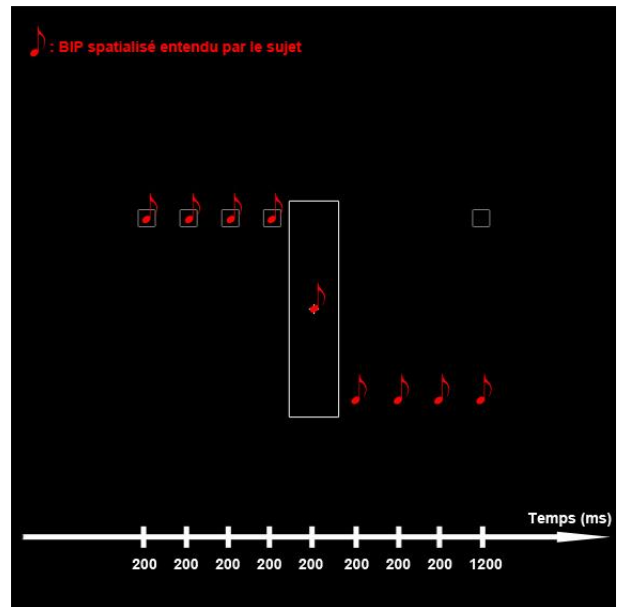


Figure 5 : Procédure pour la condition Continu-Invalide avec un départ en Haut-Gauche

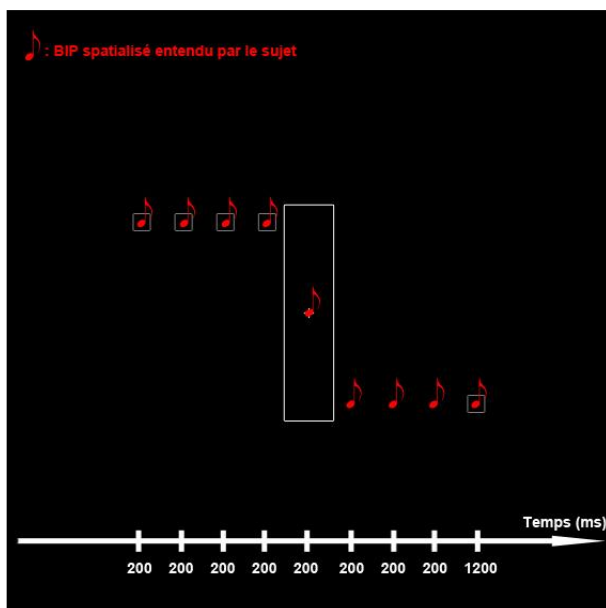


Figure 6 : Procédure pour la condition Discontinu-Valide avec un départ en Haut-Gauche

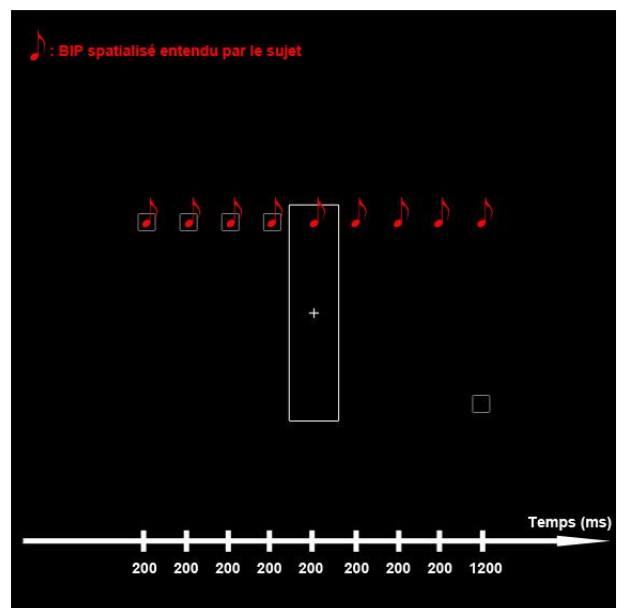


Figure 7 : Procédure pour la condition Discontinu-Invalide avec un départ en Haut-Gauche

Il doit appuyer le plus vite possible sur la touche ESPACE du clavier lorsque qu'il voit le stimulus cible réapparaître de l'autre côté du tunnel. S'il ne le voit pas réapparaître, il ne doit pas appuyer. Le sujet a 480 essais à réaliser, ceux-ci distribués de manière aléatoire. Le logiciel récolte les temps de réaction des sujets associé à chaque condition.

### III. Résultats

Dans un premier temps, les temps de réactions de chaque sujet d'abord été réduits en soustrayant 1000 ms car le logiciel a commencé à enregistrer le temps de réponse au début de chaque essai (chaque vidéo) alors que ce qui nous intéresse est le temps de réaction après que le stimulus visuel ait disparu dans le tunnel ce qui intervient après 1000 ms. Pour chaque sujet, seules les moyennes situées entre moins deux et plus deux écart-type de leur moyenne globale ont été gardés. Pour le traitement des données, le logiciel Excel a été utilisé. Pour les analyses statistiques, c'est la version d'essai du logiciel Statistica qui a été utilisée. Compte-tenu du faible effectif de l'échantillon, seuls des tests non-paramétriques ont été utilisés. Les tableaux récapitulatifs sont présentés en Annexe.

Les participants ont fait en moyenne, 4,46 erreurs lors des passations. Cela représente un taux d'erreurs de 2,79 %, soit 97,21 % de réussite (Cf. ANNEXE A).

#### A. Moyennes brutes

##### 1. Effet de la validité

Une moyenne globale a été calculée entre chaque sujet pour une validité ou une non-validité de l'indice (moyenne validité : 1175,5, e.-t. : 176,0 ; moyenne non-validité : 1174,6, e.-t. : 173,3) (Cf. ANNEXE B). Ces résultats sont représentés dans la *figure 1* ci-dessous. Le test statistique de Wilcoxon indique une non-significativité des différences entre les moyennes ( $T = 41$  ;  $Z = 0,31$  ;  $p\text{-value} = 0,75$  pour  $p < ,05$ ).

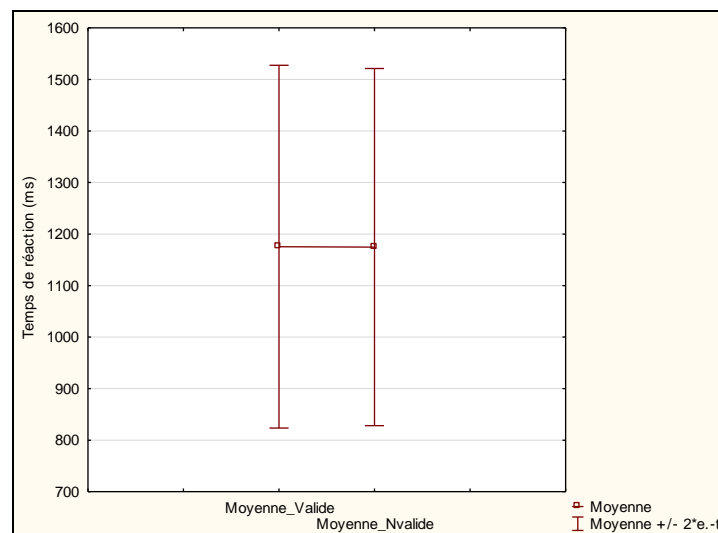


Figure 8 : Moyenne des temps de réaction (ms) pour une validité et une non-validité

## 2. Effet de la continuité

Une moyenne globale a été calculée entre chaque sujet pour une continuité ou une non-continuité de l'indice (moyenne validité : 1177,5, e.-t. : 174,5 ; moyenne non-validité : 1172,7, e.-t. : 175,0) (Cf. ANNEXE B). Ces résultats sont présentés dans la *figure 2* ci-dessous. Le test statistique de Wilcoxon indique une non-significativité des différences entre les moyennes ( $T = 21$  ;  $Z = 1,57$  ;  $p\text{-value} = 0,12$  pour  $p < ,05$ ).

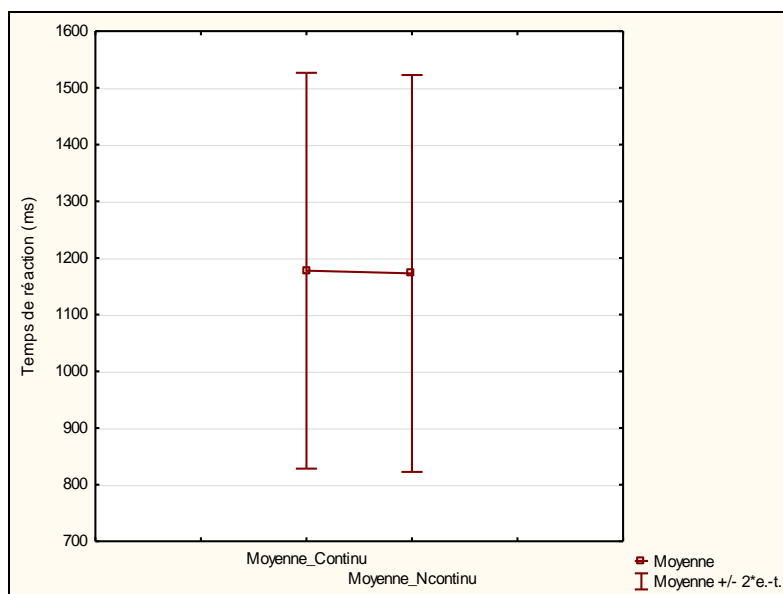


Figure 9 : Moyenne des temps de réaction (ms) pour une continuité et une non-continuité

## 3. Variabilité inter-individuelle

Les *figures 3, 4, 5, 6* indiquent les différences dans les moyennes brutes entre sujets dans chaque condition et donc la variabilité interindividuelle.

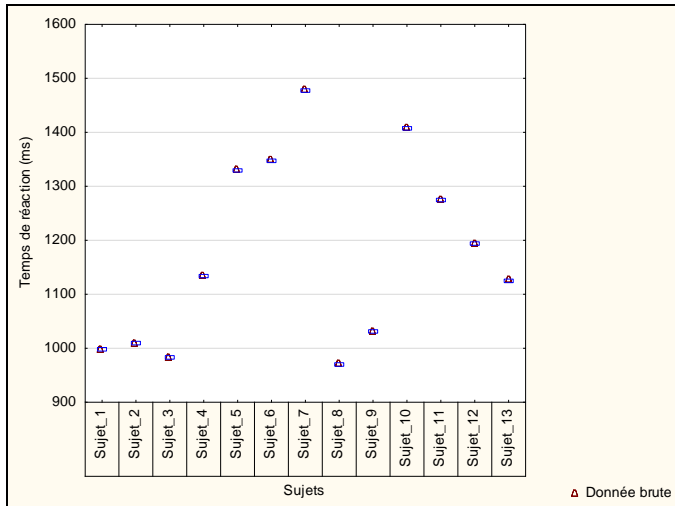


Figure 10 : Temps de réaction (ms) à la condition valide pour chaque sujet

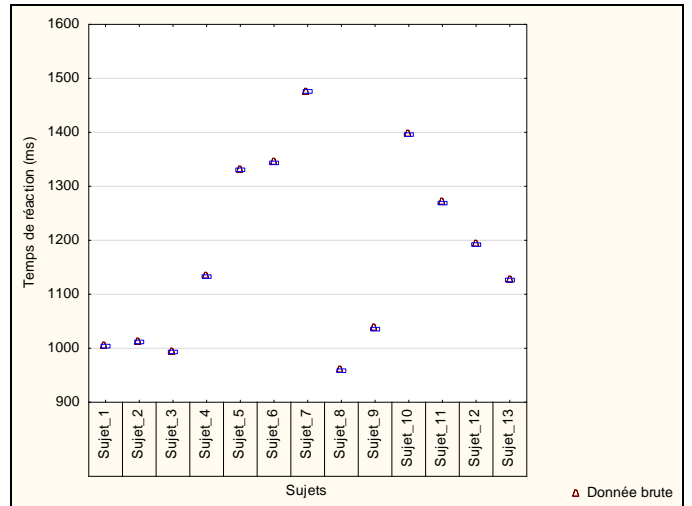


Figure 11 : Temps de réaction (ms) à la condition non-valide pour chaque sujet

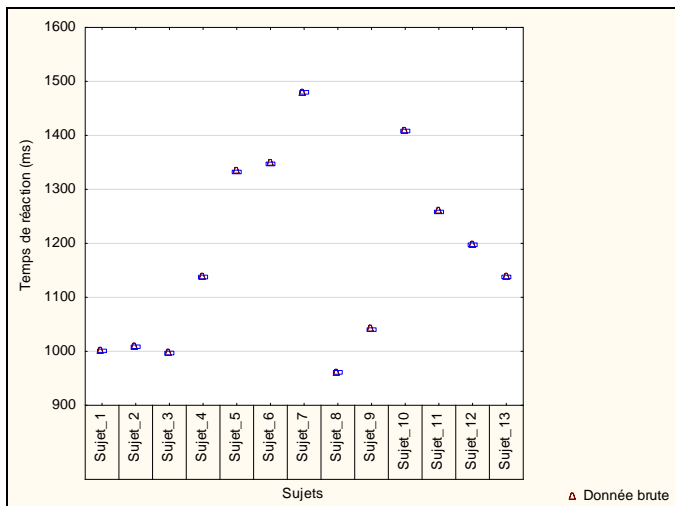


Figure 12 : Temps de réaction (ms) à la condition de continuité pour chaque sujet

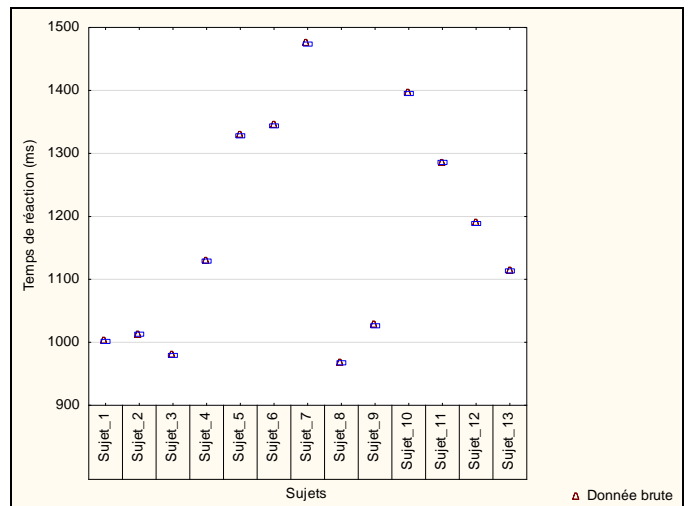


Figure 13 : Temps de réaction (ms) à la condition de non-continuité pour chaque sujet

Une analyse par Cluster avec l'algorithme K-Means (Cf. ANNEXE C) sépare les sujets en deux clusters comme nous l'indique la *figure 4*. Le cluster 1 représente les sujets 1, 2, 3, 4, 8, 9 et 13 qui ont une moyenne inférieure à 1150 ms. Le cluster 2 représente les sujets 5, 6, 7, 10, 11, 12 qui ont une moyenne au-dessus de 1150 ms.

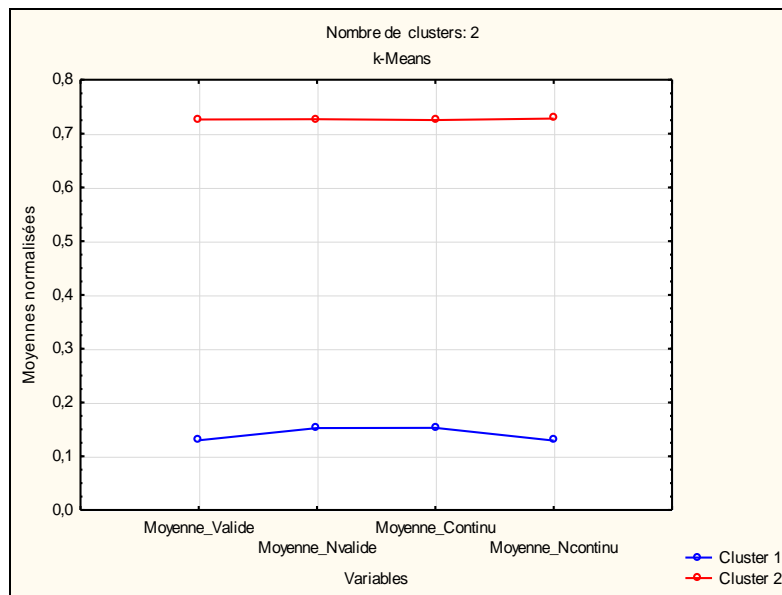


Figure 14 : Répartition des moyennes des sujets par clusters en fonction de la variable de validité et de la variable de continuité

## B. Moyennes centrées-réduites

A partir de ces clusters, les moyennes de chaque sujet ont été centrées et réduites selon leur cluster afin de standardiser ces moyennes. A partir de ces moyennes standardisées, une nouvelle analyse est effectuée.

### 1. Effet de la validité

Une moyenne globale a été calculée entre chaque sujet pour une validité ou une non-validité de l'indice (moyenne validité :  $-3,41607E-16$ , e.-t. : 0,957 ; moyenne non-validité :  $4,27009E-16$ , e.-t. : 0,957) (Cf. ANNEXE D). Ces résultats sont présentés dans la *figure 5* ci-dessous. Le test statistique de Wilcoxon indique une non-significativité des différences entre les moyennes ( $T = 39$  ;  $Z = 0,45$  ;  $p\text{-value} = 0,65$  pour  $p < ,05$ ).



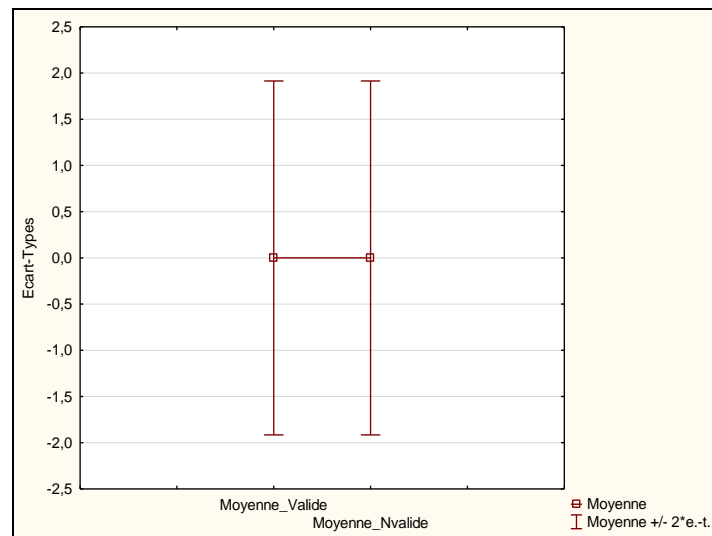


Figure 15 : Moyennes standardisées des temps de réaction (ms) pour une validité et une non-validité

## 2. Effet de la continuité

Une moyenne globale a été calculée entre chaque sujet pour une continuité ou une non-continuité de l'indice (moyenne continuité : 1,26395E-15, e.-t. : 0,957 ; moyenne non-continuité : 1172,7, e.-t. : 175,0) (Cf. ANNEXE D). Ces résultats sont présentés dans la *figure 6* ci-dessous. Le test statistique de Wilcoxon indique une non-significativité des différences entre les moyennes ( $T = 44$  ;  $Z = 0,10$  ;  $p\text{-value} = 0,32$  pour  $p < ,05$ ).

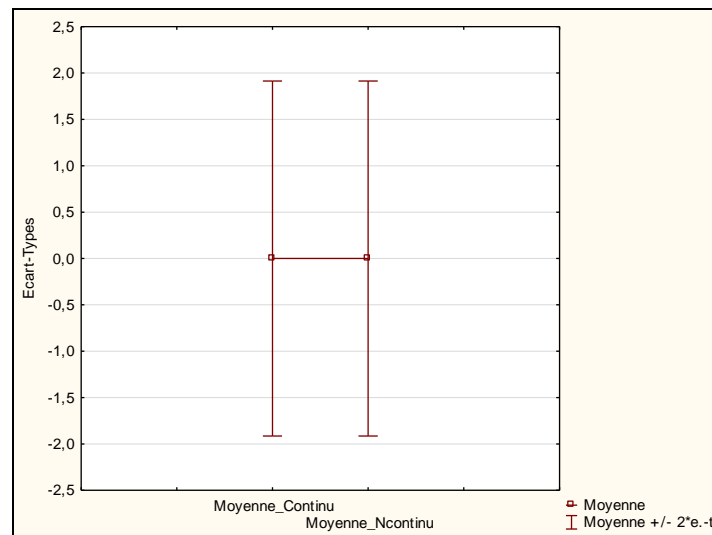


Figure 16 : Moyenne standardisée des temps de réaction (ms) pour une continuité et une non-continuité

### C. Analyses complémentaires

Une analyse de variance (test de Friedman & Kendall) effectuée sur les moyennes brutes de toutes les conditions expérimentales que les sujets ont passé, ne montre aucune différence significative entre ces moyennes :  $X^2$  (N = 13, df = 15) = 40,61100 ;  $p = ,00037$  ; Coeff. of Concordance = ,20826 ; Aver. rank  $r = ,14228$  (Cf. ANNEXE E). De plus, cette même analyse a été effectuée après avoir centré et réduit ces moyennes. Elle n'indique aucune significativité de différences entre les moyennes de chaque condition :  $X^2$  (N = 13, df = 15) = 3,583710 ;  $p = ,99881$  ; Coeff. of Concordance = ,01838 ; Aver. rank  $r = -,0634$  (Cf. ANNEXE F).

Les moyennes de rang d'apparition pour la validité et la non-validité ont été calculées (moyenne validité : 246,1, e.-t. : 15,8 ; moyenne non-validité : 236,5, e.-t. : 15,4) (Cf. ANNEXE G Tableau ?). Le test de Wilcoxon indique que les différences ne sont pas significatives (T = 19 ; Z = 1,85 ; p-value = 0,064 pour  $p < ,05$ ).

Les moyennes de rang d'apparition pour la continuité et la non-continuité ont été calculées (moyenne continuité : 241,9, e.-t. : 13,9 ; moyenne non-continuité : 233,6, e.-t. : 37) (Cf. ANNEXE G). Le test de Wilcoxon indique que les différences ne sont pas significatives (T = 37 ; Z = 0,59 ; p-value = 0,55 pour  $p < ,05$ ).

Enfin, les moyennes de rang d'apparition de chaque conditions passées par les sujets ont été calculées (Cf. ANNEXE H). L'analyse de la variance par le test de Friedman & Kendall indique que les différences ne sont pas significatives ( $X^2$  (N = 15, df = 15) = 20,64284 ;  $p = ,14864$  ; Coeff. of Concordance = ,09175 ; Aver. rank  $r = ,02687$ ).

## IV. Discussion

Dans notre étude, notre objectif était de comprendre si un indice auditif spatialisé, permettrait de prédire efficacement la localisation finale de réapparition d'un stimulus visuel lorsque celui-ci avait disparu dans un tunnel. Notre hypothèse était que la modalité auditive allait permettre d'influencer la détection visuelle des sujets et qu'un indicage auditif valide allait permettre de détecter plus rapidement la localisation finale du stimulus visuel par rapport à un indicage non-valide et ce, quel que soit la continuité ou la discontinuité de la trajectoire de ce stimulus visuel.

Les premiers résultats démontrent que les différences entre les moyennes ne sont pas significatives et donc il est difficile d'affirmer la validité de ces résultats. De plus, il y a eu une très grande variabilité interindividuelle causée principalement par l'utilisation d'ordinateurs différents due à des difficultés d'ordre technique. En standardisant les moyennes par condition de passation (le premier groupe a utilisé des ordinateurs fixes présents dans la salle multimédia de l'université et ont passé l'épreuve en collectif ; dans le second groupe, les sujets ont passé l'épreuve sur un ordinateur portable personnel et donc en individuel), on s'aperçoit que les différences restent non-significatives. Concernant l'effet de continuité, les premiers résultats présentant la moyenne brute pour chaque condition, indiquent une non-significativité des différences entre les moyennes qui ne nous permettent pas d'affirmer que ces résultats sont valides. La standardisation des moyennes indique la même conclusion.

Les analyses statistiques sur les différents essais que tous les sujets ont passés, ne montrent aucune différence significative entre ces différents essais. Il n'y a donc pas eu d'effet de la position de départ (en haut à gauche ; en haut à droite ; en bas à gauche ; en bas à droite) ni de la direction (gauche/droite ou droite/gauche).

Les analyses sur les moyennes de rang d'apparition de chaque condition et de chaque essai dans la passation ne démontrent pas d'effet de ce rang d'apparition sur les performances des sujets. Autrement dit, les essais ont bien été randomisés.

Le faible taux d'erreurs peut nous indiquer une éventuelle bonne implication des sujets quant à la passation et une bonne compréhension des consignes données au départ.

Aux vues des résultats de notre expérience nous ne pouvons pas valider notre hypothèse de départ car, il n'y a aucune différence significative entre la condition valide et

non-valide. Il semble que l'effet de validité de l'indice auditif n'ait aucun effet sur les performances des participants. Il est à noter également que, d'après nos résultats, il ne semble pas y avoir d'effet de continuité car les différences ne sont pas significatives.

Nos résultats concernant la validité vont à l'encontre des travaux d'Hidaka et al. (2010) qui ont conclu qu'un changement concernant la nature d'un son peut renseigner sur un changement d'un stimulus visuel. Nos résultats s'opposent également aux travaux de Spence (2010) qui démontraient qu'en attention exogène, il y a un effet facilitateur de la cible, même si la modalité de la cible est différente de la modalité de l'indice. Enfin, ils vont à l'encontre de l'expérience de Meyer & Wuerger (2001) qui concluait sur le fait que la présence d'un mouvement auditif intensif introduit un biais dans la perception du mouvement visuel dans la direction du mouvement auditif.

Cette absence d'effet de la validité d'une trajectoire auditive spatialisée vient contredire les résultats de Spence et al. (2004) qui ont démontré un effet de congruence intermodale lorsque deux modalités sont positionnées identiquement dans l'espace.

Nos résultats, concernant la continuité spatio-temporelle visuelle vont à l'encontre des travaux de Burke (1952), de Michotte (1946/1963, 1950) et de Michotte, Thinès & Crabbé (1964/1991) qui ont conclu que lorsque le stimulus visuel réapparaissait de l'autre côté du tunnel avec une continuité spatio-temporelle, les participants mettaient moins de temps pour le détecter visuellement. Ils vont également à l'encontre des travaux de Kawachi et al. (2006, 2013) pour lesquels les participants ont eu un temps de réaction moindre dans une situation de continuité par rapport à une situation de non-continuité.

Cette absence de différence entre la condition continue et non-continue peut être rapprochée des travaux d'Alink et al. (2012) qui ont conclu qu'un mouvement auditif peut avoir un impact sur la perception du mouvement visuel si celui-ci n'est pas assez clair.

Nos résultats, qui ne correspondent pas aux conclusions des études précédentes concernant l'effet de la modalité auditive sur la modalité visuelle, pourraient être expliqués par le fait que lors de la construction de l'expérience et dans la volonté de respecter une congruence spatiale entre les stimuli visuels et auditifs, les directions sonores ont pu paraître très difficiles à percevoir et à différencier. En effet, le but n'était pas de travailler sur un positionnement extrême en azimuth (qui aurait été plus simple à percevoir) mais de faire correspondre les positionnements auditifs aux positionnements visuels. De plus, dans la

construction des trajectoires sonores, il était très difficile de représenter des trajectoires fluides et continues. En réalité, ces trajectoires ont été un assemblage de sons de 200 ms et il n'a pas été possible de « lisser » cet assemblage afin de représenter une trajectoire uniforme. Ceci peut être expliqué par la qualité des logiciels avec lesquels a été construite cette expérience. La spatialisation des sons a été effectuée avec une version d'essai d'un logiciel plus performant et l'assemblage a été effectué par un logiciel libre de droit qui a quelques limites par rapport à des logiciels plus « professionnels ».

Cette difficulté de perception nous a amené à effectuer un entraînement auditif avant la passation afin que les participants puissent s'habituer à ces différentes trajectoires sonores et qu'ils puissent se les représenter. Tous les participants ont avoué avoir des difficultés pour percevoir les différentes trajectoires sonores présentées. Les trajectoires auditives n'ont donc peut-être pas pu avoir ce réel impact attendu car elles manquaient sans doute de finesse et de qualité.

Ce biais de perception sonore pourrait être mis en lien avec la qualité du matériel auditif. Effectivement, les participants qui ont réalisé l'expérience dans la salle multimédia de l'université avaient à leur disposition des casques avec une fidélité sonore et un volume très faible. Cela a donc pu biaiser, encore un peu plus, la perception sonore des trajectoires auditives. Les participants qui ont passé cette expérience en solitaire sur un ordinateur portable ont pu bénéficier d'écouteurs intra-auriculaires qui étaient de meilleure qualité. Il y a donc eu une différence de matériel entre les participants de la salle multimédia et ceux qui l'ont passé en individuel. Mais cette différence de matériel n'a pas eu d'impact sur un quelconque effet de validité pour la modalité auditive. On peut alors se demander si ce ne serait pas, effectivement, le manque de qualité des trajectoires sonores qui auraient pu influencer sur la perception des participants.

Pour l'absence d'effet de continuité et de non-continuité on est en droit de se demander si la modalité auditive n'aurait pas joué un rôle dans la perception visuelle. En effet, en théorie, lorsque le stimulus visuel réapparaît selon une continuité spatio-temporelle, les participants ont un temps de réaction diminué par rapport à une non-continuité. Les travaux d'Alink et al. (2012) ont pu démontrer qu'un mouvement auditif, s'il est ambigu (et ceci pourrait être le cas dans notre étude aux vues des difficultés de perception des sujets), peut biaiser la perception d'un mouvement visuel. Donc peut-être que le manque de précision

de nos trajectoires auditives ont quand même pu influencer la perception visuelle des participants ce qui pourrait expliquer l'annulation de l'effet de continuité.

Pour cette même absence d'effet, on peut également se demander si la construction visuelle de notre expérience était pertinente. Nous avons repris les mesures de l'expérience de Kawachi et al. (2006) mais en augmentant la distance de discontinuité car elle nous semblait plus représentative et il était plus simple, par la suite de spatialiser nos sons. Il faut alors se demander si cette augmentation de distance n'a pas eu un effet sur le paradigme de l'effet tunnel. De plus, la cible n'était présentée qu'à la fin de sa trajectoire supposée en lien avec les indices auditifs que nous voulions mettre en place. Dans le paradigme de l'effet tunnel, les cibles réapparaissent très rapidement après le tunnel, alors que dans notre expérience, elles ne réapparaissent qu'à la fin de la trajectoire sonore. Il faut donc se demander si, dans la modalité visuelle, cette latence (due à la durée de l'indicage sonore) n'influence pas l'effet de continuité. Il serait intéressant de refaire l'expérience sans la modalité auditive pour observer si cet effet de continuité a bien lieu. Si c'est le cas, alors c'est peut-être bien l'ambiguïté de nos trajectoires sonores qui pourraient influencer la perception visuelle, l'effet de continuité, mais sans que ces trajectoires n'aient d'effet de validité quant à la localisation finale de la cible visuelle. Si ce n'est pas le cas, alors, il faudra revoir, en premier lieu, la construction des éléments visuels.

Enfin, il serait intéressant de s'intéresser à un éventuel conditionnement de la tâche. Les participants ont, en effet, pu rapporter qu'ils avaient tendance à appuyer dès la fin de la trajectoire et qu'après un certain nombre d'essais, ils connaissaient cette durée qui était constante. On pourrait donc se demander si, finalement, les participants n'ont pas utilisé uniquement la constance de cette modalité auditive. Le faible taux d'erreurs nous indique cependant qu'il y a eu quand même une prise en compte de la modalité visuelle car les sujets n'ont presque pas appuyé lorsque la cible n'était pas présentée.

Notre expérience comporte d'autres biais méthodologiques. L'un des biais majeurs fut la différence de condition de passation entre les participants. En effet, il était prévu que tous les participants puissent passer l'expérience dans une salle multimédia, en collectif. Cela permettait de contrôler les conditions de passations (même matériel, même environnement...). Malheureusement, aux vues des difficultés techniques rencontrées (les ordinateurs n'étaient pas assez puissants pour que l'expérience se déroule intégralement et donc les ordinateurs bloquaient à certain moment, ce qui empêchait de continuer l'expérience), il n'était pas

possible de continuer les passations dans ces conditions car il fallait recommencer plusieurs fois l'expérience (ce qui pouvait fatiguer le sujet et biaiser ses performances).

A cause de ces bugs informatiques, beaucoup de données n'ont pas pu être analysées car elles étaient incomplètes et il était difficile de redemander aux participants de repasser l'épreuve car leur temps était limité. C'est pour cela que, par la suite, les participants ont passé l'épreuve sur un ordinateur portable plus puissant afin d'avoir des données complètes analysables, entraînant, de ce fait, un biais de condition de passation. Toutes ces difficultés techniques rencontrées peuvent expliquer le faible échantillon de participants.

Cette différence de passation renvoie également à un autre biais. Pendant que les participants de la salle multimédia passaient l'expérience, il y avait la présence de nuisances sonores qui ont pu gêner l'attention des participants (bruits de travaux, bruits dans les couloirs...). Les autres participants ont pu bénéficier d'une ambiance relativement plus calme. Même si cette différence de condition de passation ne s'inscrit pas dans les résultats car ils ne sont pas significatifs, elle constitue un manque de contrôle et un biais méthodologique majeur qui, d'un point de vue expérimental pose évidemment question.

Cette expérience, par la suite, pourrait donc bénéficier d'améliorations. Pour ce qui est de la modalité auditive, il serait judicieux de retravailler les spatialisations et les trajectoires sonores avec des moyens plus performants afin que leurs perceptions soient améliorées. Il serait également préférable de travailler avec des écouteurs de bonne qualité afin que les spatialisations créées soient le mieux reproduites. Enfin, il pourrait être pertinent de présenter plusieurs durées pour les trajectoires sonores afin que les participants ne soit pas conditionnés par le fait d'appuyer après un même laps de temps.

Pour la modalité visuelle, comme indiqué ci-dessus, il faudrait s'assurer qu'il y ait bien un effet de continuité en dehors de toutes modalités auditive ajoutées et de vérifier si, la distance ajoutée par rapport à l'expérience de Kawachi et Gyoba de 2006, n'a pas d'effet pour l'expérience.

L'expérience pourrait être reproduite afin que tous les sujets aient les mêmes conditions de passation, en essayant d'apposer un cadre sans distracteurs extérieurs, qu'ils aient un même matériel informatique afin d'obtenir les mêmes proportions de moyennes et donc un meilleur contrôle des variables. Enfin, il faudrait que cette expérience soit passée par

un plus grand nombre de sujets pour observer l'influence d'un plus grand échantillon sur les analyses statistiques.

Dans notre étude nous avons essayé, dans l'idée actuelle, de travailler avec un espace pluridimensionnel (ici, le plan horizontal et le plan vertical) surtout pour la modalité auditive afin qu'elle soit congruente au stimulus visuel. Cette spatialisation sonore est sans doute moins connue et moins expérimentée dans la psychologie de l'attention par rapport à la modalité visuelle. Cela pourrait s'expliquer par la difficulté d'accès à des outils de spatialisation adéquats par rapport aux nombreux outils pour, maintenant, étudier la modalité visuelle. Nous avons vu que la qualité du matériel jouait un très grand rôle dans cette étude. Il est, en effet, important de se rappeler que la qualité du matériel peut jouer un très grand rôle pour l'étude et l'application de dispositifs mettant en jeu des processus attentionnels.

Il serait intéressant de développer des expériences avec des professionnels de la sonorisation et de mesurer quel impact peut avoir une grande variété de matériels sonores et informatiques pour le grand public afin d'étudier si, des logiciels paramétrés en amont en laboratoire, ont une validité écologique pour les usagers.

Notre but de départ était d'essayer de comprendre comment l'individu pouvait traiter les informations issues de son environnement surtout, aujourd'hui, avec l'essor des nouvelles technologies et de leur utilisation multimodale. A travers la littérature scientifique sur l'attention spatiale intermodale pour la modalité visuelle et auditive, nous avons pu découvrir qu'une modalité visuelle pouvait en influencer une autre et, parfois même, l'indicer. Nous nous sommes également aperçu que les enjeux actuels étaient de travailler sur un espace en trois dimensions. Aux vues de ces apports théoriques, nous nous sommes demandé si la modalité auditive pouvait influencer la modalité visuelle en modifiant un paradigme déjà existant (l'effet tunnel) pour étudier si cette modalité auditive pouvait indicer la modalité visuelle lorsque les stimuli de ces deux modalités étaient dans une congruence spatiale. Notre hypothèse fut que cette modalité auditive pouvait bel et bien indicer la modalité visuelle dans la détection de l'emplacement d'arrivée d'une cible visuelle après avoir disparu dans un tunnel.

Les résultats ne montrent aucune différence significative entre les conditions de validité et même de continuité. L'hypothèse que nous avons proposée n'est donc pas validée et dans notre expérience, un indice auditif spatialisé ne prédit donc pas efficacement l'arrivée



du stimulus visuel. Cependant, il faudra s'interroger sur l'absence d'effet de continuité pour la modalité visuelle qui pourrait-être un impact, mais non mesurable ici, de la modalité auditive.

Notre expérience à cependant souffert de quelques biais notamment sur la finesse des trajectoires sonores proposées, sur le matériel utilisé ainsi que sur les conditions de passations, qui ont donc pu biaiser certains de nos résultats. Notre expérience peut donc être améliorée par la suite et invite à reconsidérer la modalité auditive par rapport à la modalité visuelle, surtout dans sa perception spatiale qui implique, pour sa construction et sa reproduction, de bons outils ainsi qu'un bon matériel pour peut-être, par la suite, améliorer ou mieux étudier les dispositifs mettant en jeu des processus attentionnels dans les logiciels et dans les nouvelles technologies à venir.

## Bibliographie

### Livres

- Bertrand, A., & Garnier, P.-H. (2005). *Psychologie cognitive*. Studyrama.
- Boujon, C., & Quaireau, C. (1997). *Attention et réussite scolaire*. Dunod.
- Camus, J.-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*. Armand Colin.
- Delorme, A., & Flückiger, M. (2003). *Perception et réalité: Introduction à la psychologie des perceptions*. De Boeck Supérieur.
- Fodor, J. A., & Fodor, J. A. (1986). *La modularité de l'esprit: essai sur la psychologie des facultés*. Les Editions de Minuit.
- Hugonnet, C., Walder, P., & Dutoit, C. (2012). *Prise de son : Stéréophonie et son multicanal*. Paris: Eyrolles.
- Lemaire, P. (2006). *Psychologie cognitive* (Édition : 2e édition). Bruxelles: De Boeck.
- Maquestiaux, M. F. (2013). *Psychologie de l'attention*. De Boeck Supérieur.
- Reed, S. K., & Verhasselt, E. (2011). *Cognition théories et applications* (Édition : 3e édition 2011). Bruxelles: De Boeck.
- Weil-Barais, A. (2011). *L'homme cognitif*. Presses Universitaires de France - PUF.

### Articles

- Alink, A., Euler, F., Galeano, E., Krugliak, A., Singer, W., & Kohler, A. (2012). Auditory motion capturing ambiguous visual motion. *Frontiers in Psychology*, 2, 391. doi:10.3389/fpsyg.2011.00391
- Hidaka, S., Teramoto, W., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2010). Sound can prolong the visible persistence of moving visual objects. *Vision Research*, 50(20), 2093-2099. doi:10.1016/j.visres.2010.07.021
- Kawachi, Y., & Gyoba, J. (2006). A new response-time measure of object persistence in the tunnel effect. *Acta Psychologica*, 123(1-2), 73-90. doi:10.1016/j.actpsy.2006.04.003
- Lukas, S., Philipp, A. M., & Koch, I. (2014). Crossmodal attention switching: Auditory dominance in temporal discrimination tasks. *Acta psychologica*, 153, 139-146.

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324. doi:10.3758/s13428-011-0168-7

Meyer, G. F., & Wuerger, S. M. (2001). Cross-modal integration of auditory and visual motion signals. *Neuroreport*, 12(11), 2557-2560.

Spence, C. (2010). Crossmodal attention. *Scholarpedia*, 5(5), 6309. doi:10.4249/scholarpedia.6309

Spence, C., Pavani, F., & Driver, J. (2004). Spatial constraints on visual-tactile cross-modal distractor congruency effects. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 4(2), 148-169.

Van der Stoep, N., Nijboer, T. C. W., Van der Stigchel, S., & Spence, C. (2014). Multisensory interactions in the depth plane in front and rear space: A review. *Neuropsychologia*. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.12.007

Wuerger, S., Meyer, G., Hofbauer, M., Zetzsche, C., & Schill, K. (2010). Motion extrapolation of auditory-visual targets. *Information Fusion*, 11(1), 45-50. doi:10.1016/j.inffus.2009.04.005

## Sites internet

Audacity: Logiciel libre d'enregistrement et de montage audio. (s. d.). Consulté 24 février 2015, à l'adresse <http://audacity.sourceforge.net/?lang=fr>

GIMP - The GNU Image Manipulation Program. (s. d.). Consulté 24 février 2015, à l'adresse <http://www.gimp.org/>

Home - OpenSesame documentation area. (s. d.). Consulté 24 février 2015, à l'adresse <http://osdoc.cogsci.nl/>

L'Angle Visuel - Neuropsychologie Cognitive. (s. d.). Consulté 26 mars 2015, à l'adresse <http://npsycog.over-blog.com/article-1157743.html>

Movie Maker - Microsoft Windows. (s. d.). Consulté 24 février 2015, à l'adresse <http://windows.microsoft.com/fr-fr/windows-live/movie-maker>

Wave Arts | Plugins | Panorama. (s. d.). Consulté 24 février 2015, à l'adresse <http://wavearts.com/products/plugins/panoram>

## RESUME

Dans l'étude de l'attention spatiale intermodale, la majorité des travaux se sont basés sur l'étude de la modalité visuelle et de sa dominance notamment dans des paradigmes d'indicage spatial. Or, selon notre hypothèse, la modalité auditive pourrait influencer cette modalité visuelle dans ce type de tâche. L'objectif de ce travail de recherche était d'observer si un indice auditif spatialisé permettait de prédire efficacement la localisation finale de réapparition d'une cible visuelle lorsque celui-ci avait disparu dans un tunnel. Pour cela, 13 participants ont passé une expérience que nous avons construite d'après l'étude de Kawachi et Gyoba (2006). Les participants devaient détecter le plus rapidement un stimulus visuel qui pouvait réapparaître selon un critère de continuité et qui était associé à un indice sonore spatialisé. Les résultats observés ne permettent pas de valider notre hypothèse car aucune différence significative n'a été observée entre un indicage valide et non valide.

Mots-clés : attention intermodale, indicage spatial, effet tunnel, indice sonore.

## ABSTRACT

In the study of the intermodal spatial attention, the majority of the works are based on the study of the visual modality and its dominance in paradigms of spatial cueing. According to our hypothesis, the hearing modality could influence this visual modality in this type of task. The aim of this research was to observe if a spatial sound cue allowed to predict effectively the final localization of reappearance of a visual target when this one had disappeared in a tunnel. For that purpose, 13 participants have been administered to an experiment which we built according to the study of Kawachi and Gyoba (2006). The participants had to detect the more quickly a visual stimulus which could re-appear according to a criterion of continuity and which was associated with a spatial sound cue. The results do not allow to validate our hypothesis because no significant difference was observed between a valid and not valid cue.

Keywords : crossmodal attention, spatial cueing, tunnel effect, sound cue.