



**HAL**  
open science

# Perception des distances : effets des contraintes environnementales et des variations de la fluence métacognitive

Roman Josa

► **To cite this version:**

Roman Josa. Perception des distances : effets des contraintes environnementales et des variations de la fluence métacognitive. Psychologie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2017. Français. NNT : 2017MON30085 . tel-01834562v1

**HAL Id: tel-01834562**

**<https://theses.hal.science/tel-01834562v1>**

Submitted on 10 Jul 2018 (v1), last revised 13 Jul 2018 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# THÈSE

Pour obtenir le grade de  
Docteur

Délivré par l'Université Paul Valéry – Montpellier III

Préparée au sein de l'école doctorale 60  
Et de l'unité de recherche EPSYLON EA 4556

Spécialité : **Psychologie Cognitive**

Présentée par **Romàn Josa**

**Perception des distances :**  
**Effets des contraintes environnementales**  
**et des variations de la fluence métacognitive**

Thèse soutenue le **15 Décembre 2017** devant le jury composé de :

Monsieur **Michel GUERRAZ**, PU, Université Savoie-Mont-Blanc  
Madame **Valérie GYSELINCK**, DR, Institut Français des Sciences et  
Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)  
Madame **Pom CHARRAS**, MCF, Université Paul Valéry – Montpellier III  
Monsieur **Gérard OLIVIER**, MCF HDR, Université Nice Sophia Antipolis  
Monsieur **Denis BROUILLET**, PU, Université Paul Valéry – Montpellier III

**Rapporteur**  
**Rapporteuse**

**Examinatrice**  
**Examineur**  
**Directeur**

Président du jury : Monsieur **Michel GUERRAZ**



# Perception des distances :

Effets des contraintes environnementales  
et des variations de la fluence métacognitive

Romàn Josa

Thèse dirigée par le Professeur Denis Brouillet

École Doctorale 60  
Université Paul Valéry – Montpellier 3  
Laboratoire Epsilon – Équipe DynaCSE



Je dédie cette thèse à mes 5 grands-parents  
À Carmen, Joseph, Pierrot, Isabelle et Henri



# REMERCIEMENTS

Ce travail a été avant tout une entreprise éminemment collective. En ce sens, je tiens à remercier toutes les personnes, qui de près ou de loin, ont contribué à son aboutissement.

Je remercie très spécialement mon Directeur, le Professeur Denis Brouillet, pour m'avoir encadré durant ses trois années, mais aussi pour m'avoir suivi depuis mon année de Licence 3. Au total, ce seront 7 années que nous aurons passées à une distance relativement proche l'un de l'autre. Je le remercie pour son enthousiasme, pour nos nombreux échanges, pour son extrême disponibilité, ainsi que pour sa curiosité contagieuse. Sincèrement.

Je remercie Thomas pour avoir été d'un grand support. Bien plus qu'il ne le croit. Je le remercie pour l'aventure TRACE que nous avons entamée en 2013 avec Caro et Clem, et que personne ne sait encore où elle se terminera. A ce propos, je remercie Thibaut et Hélène pour avoir pris la relève l'année dernière, et avoir permis que cet événement puisse traverser la France et atteindre la capitale. Je remercie aussi Jérôme pour son soutien indispensable dans le montage logistique et financier des diverses éditions montpelliéraines. Je remercie Lionel pour avoir assuré la direction scientifique de l'événement. Je remercie Sophie pour son coup de pouce indispensable. Je remercie également toutes les personnes ayant cru et contribué en ce projet !

Je remercie Nicolas Morgado et Richard Palluel pour notre collaboration à distance et la qualité de nos échanges !

Je remercie Philippe pour m'avoir parlé tant de fois de fluence, de fluence relative, d'intensité du signal, de méta-méta-cognition et de surprise de surprise. Je le remercie d'avoir insisté, tout autant que M. Brouillet, sur la nécessité de s'y intéresser !

Je remercie Fabrice, Arthur, Clem, Caro, Tom, Philippe, Anne-C, Audrey, Adeline, Johan, Guillaume T., Lionel, Gonzalo, Guillaume C., et tous les autres, pour avoir fait du labo un endroit où l'on est content de venir. Les mots me manquent pour exprimer cette idée. L'aventure humaine que ces années au laboratoire ont constituée restera un souvenir impérissable.

Je remercie l'ensemble des étudiants et participants ayant pris part à mes expériences !

Je remercie également mes amis, étrangers au monde du laboratoire, mais au fait de son impact sur mon quotidien ! Avant tout, je les remercie pour leur humour salvateur. Je remercie particulièrement Antoine, Val, Matt et Jérem, pour notre amitié de longue date et pour l'inspiration qu'ils me procurent.

Enfin, je remercie ma famille pour son soutien sans faille et pour l'amour inconditionnel qu'elle m'apporte. Mon frère, Guillem, ma sœur, Eva, et mes parents, Dario et Frédérique. Je vous aime.

Toutes les personnes citées, et certaines qui ne le sont pas, ont pris une part significative dans ma vie durant ces trois années de thèse. Que ce soit d'un point de vue universitaire, familial, amical ou affectif, elles m'ont été d'un grand soutien. Je les en remercie du fond du cœur.







## FINANCEMENT

Cette thèse a été financée par une allocation de recherche du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche versée par l'Université Paul Valéry, Montpellier 3. Elle a été réalisée au sein de l'équipe de recherche DynaCSE du Laboratoire Epsilon, EA 4556 et de l'École Doctorale 60 « Territoires, Temps, Sociétés et Développement ».



## ABSTRACT

Visual perception of space is mainly known as depending upon one's vision capacity. However, research about the influence of non-visual variables seems to indicate that the body also plays an important role in visual perception. In this Ph.D. thesis, we support the idea that distance perception has to be studied as a function of the sensorimotor interactions between the individuals and their environment. In the first study, we showed that action constraints in the environment such as energetic cost could influence allocentric distance perception. In the second study, we focused on the role of the sensorimotor integration process in distance perception tasks, as well as the influence of non-visual variables such as audition and motor activity. In the third study, we investigated the phenomenology of perception, and more precisely in the relative fluency of motor activity. In other words, we focused here on the metacognitive feedback that emerges from the quality of the interactions with the environment. We highlighted that such a metacognitive signal could explain the influence of action constraints on distance perception. Finally, this work provides strong supports to the idea of an integrative approach of perception according to which the theoretical boundary between perception and action is questioned by the sensorimotor nature of our knowledge.

**Keywords:** Distance perception, action constraints, sensorimotor integration, metacognitive fluency, perception-action

## RÉSUMÉ

La perception visuelle de l'espace est largement déterminée par les capacités visuelles des individus. Cependant, les recherches sur l'influence de variables dites non visuelles semblent indiquer que la dimension corporelle joue un rôle déterminant dans la perception visuelle. La thèse que nous défendons dans ce travail est que la perception des distances doit être envisagée comme le produit des interactions sensorimotrices des individus avec leur environnement. Dans une première étude nous avons montré que des contraintes d'actions, tel que le coût énergétique, générées par les dispositions de l'environnement, pouvaient avoir une influence sur la perception de distances allocentriques. Dans une seconde étude, nous avons tenté de mettre en évidence le rôle du processus d'intégration sensorimotrice dans des tâches d'évaluation de distances, ainsi que de comprendre l'influence des modalités non visuelles, telles que l'audition et la motricité, dans ce même type de tâche. Enfin, dans une troisième étude, nous nous sommes intéressés à la dimension phénoménologique de la perception, plus précisément la fluence relative associée au mouvement. C'est-à-dire à l'information métacognitive renseignant le système sur la qualité de ses interactions dans son environnement. Nous avons pu mettre en évidence que ce signal métacognitif permettrait d'expliquer différentes variations perceptives liées aux contraintes de nos actions. Finalement, cette thèse défend une approche unifiée de la perception, selon laquelle la limite entre les concepts d'action et de perception devrait être repensée afin de rendre compte de la nature sensorimotrice de nos connaissances.

**Mots clés :** Perception des distances, contraintes des actions, intégration sensorimotrice, fluence métacognitive, perception-action



# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
<b>1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Mise en perspective .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Les contraintes physiques et environnementales dans la perception des distances .....</b>	<b>10</b>
1.2.1. L'approche écologique comme source d'influence de la perception .....	11
1.2.2. Le coût énergétique : une contrainte physiologique .....	12
1.2.3. De la spécificité des actions : la conséquence de nos comportements .....	13
1.2.4. Les contraintes morphologiques .....	17
1.2.5. Des contraintes environnementales .....	20
1.2.6. Vers un environnement étendu : la prise en considération de nouveaux points de référence.....	23
1.2.7. Question de recherche n°1 .....	32
<b>1.3. Les mécanismes cognitifs dans la perception des distances .....</b>	<b>33</b>
1.3.1. La nouvelle perception directe empruntée à l'approche écologique .....	33
1.3.2. La critique de l'action-specific perception account .....	38
1.3.3. Les simulations motrices .....	41
1.3.4. L'intégration sensorimotrice : une approche idéomotrice .....	47
1.3.5. Question de recherche n°2 .....	51
<b>1.4. Le rôle de la fluence métacognitive dans la perception des distances ....</b>	<b>51</b>
1.4.1. La fluence : un indice métacognitif .....	52
1.4.2. De la fluence à la fluence relative .....	54
1.4.3. De la cognition à la motricité.....	57
1.4.4. Le rôle de la fluence dans la perception des contraintes des actions.....	61
1.4.5. Question de recherche n°3 :.....	63
<b>1.5. Rappel avant la partie expérimentale .....</b>	<b>65</b>
<b>2. PARTIE EXPÉRIMENTALE.....</b>	<b>67</b>
<b>2.1. L'influence de l'utilisation d'un outil comme point de référence dans la perception de distances allocentriques .....</b>	<b>69</b>
2.1.1. Résumé de l'article 1.....	71
2.1.2. Effort for pushing: Influence of action constraints of a non-living reference frame on allocentric distance perception.....	73
<b>2.2. Intégration sensorimotrice et perception des distances .....</b>	<b>87</b>
2.2.1. Résumé de l'article 2.....	89
2.2.2. Investigating the role of sensorimotor integration in reaching distance judgments.....	91
<b>2.3. Le rôle de la fluence relative dans la perception des distances .....</b>	<b>111</b>
2.3.1. Résumé de l'article 3.....	113
2.3.2. A feeling of physical proximity: The role of relative fluency in distance judgments.....	115

<b>3. DISCUSSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>137</b>
<b>3.1. Rappel des résultats et limites de nos études.....</b>	<b>139</b>
3.1.1. L'utilisation d'un outil en tant que point de référence (Article 1).....	140
3.1.2. Le rôle de l'intégration sensorimotrice dans la perception des distances (Article 2).....	143
3.1.3. Le rôle de la fluence dans la perception des distances (Article 3).....	147
<b>3.2. Cheminement théorique et perspectives.....</b>	<b>151</b>
<b>3.3. Conclusion générale .....</b>	<b>157</b>
<b>4. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>161</b>







# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Historiquement, l'idée générale que nos actions façonnent nos perceptions, et plus largement notre cognition, n'est pas nouvelle dans le domaine de la psychologie (James, 1890). Cependant, les sciences cognitives traditionnelles se sont développées à l'écart d'une telle conception unifiée du fonctionnement cognitif, reléguant la notion d'action – ou de motricité – au rang d'épiphénomène, et s'attachant à étudier les fonctions cognitives indépendamment les unes des autres (perception, mémoire, attention, langage, résolution de problème, apprentissage). La résurgence, durant la seconde partie du XX<sup>ème</sup> siècle, de la prise en considération du corps comme support biologique constitutif de la cognition aura permis d'aborder ces mêmes thèmes de manière plus contextualisée, en supposant une forte interaction entre l'environnement et la cognition via le corps, ses possibilités d'action, mais aussi ses contraintes.

Dans le domaine de la perception, et plus particulièrement celui de la perception visuelle de l'espace, la reconnaissance de l'action comme facteur d'influence aura pour conséquence une évolution épistémologique du statut même de l'activité perceptive. En effet, selon les modèles classiques, la perception servirait à recueillir de manière passive et objective les informations disponibles dans l'environnement, délaissant l'interprétation des informations perçues à des systèmes spécialisés. A l'inverse, selon une approche unifiée, aucune limite ne peut être établie entre les concepts de perception et d'action, l'activité perceptive intégrant les intentions et les possibilités d'action du sujet dans son milieu. L'activité perceptive est alors envisagée comme une activité d'exploration. Cette nouvelle conception permettra notamment de mettre en évidence l'influence de variables telles que l'effort physique, la capacité d'atteinte d'un objet, ou même les émotions d'un individu sur sa perception visuelle de l'espace.

La thèse que nous soutenons s'inscrit dans cette approche unifiée de la perception. Le cadre expérimental de ce travail est celui de la perception des distances. Dès lors, nos recherches ont eu pour objectif de montrer que la perception des distances doit être envisagée comme le produit des interactions sensorimotrices des individus avec leur environnement. Plus particulièrement, l'un des enjeux

originaux de ce travail était de questionner le rôle de la fluence dans les variations perceptives liées aux contraintes des actions. Le terme de fluence désigne ici, et tout au long de ce document, un signal métacognitif renseignant l'organisme sur la qualité de ses interactions sensorimotrices avec son environnement. Notamment, nous verrons en quoi une telle proposition peut sembler pertinente au regard de certaines formalisations théoriques concernant le rôle des contraintes des actions dans la perception.

Cette thèse est composée de trois parties. Une partie théorique, une partie expérimentale, et une discussion générale. Dans la première partie nous présentons le cheminement théorique à la base des travaux présentés dans cette thèse. Nous parlerons dans un premier temps du contexte général dans lequel s'inscrivent nos travaux (Chapitre 1.1). Dans un deuxième temps nous traiterons du rôle des contraintes des actions sur la perception visuelle de l'espace, et particulièrement sur la perception des distances (Chapitre 1.2). Par la suite, nous présenterons plusieurs mécanismes cognitifs susceptibles d'expliquer les effets des contraintes des actions sur la perception des distances (Chapitre 1.3). Enfin, nous nous intéresserons particulièrement au concept de fluence et tenterons de mettre en lien ce concept avec le domaine de la perception des distances.

Dans la deuxième partie nous présenterons nos travaux expérimentaux répondant chacun à une question de recherche posée dans la première partie de la thèse. La première étude porte sur la perception de distances allocentriques et sur le rôle des contraintes environnementales. La seconde porte sur le processus d'intégration sensorimotrice et son implication dans la perception des distances. Enfin, nous nous interrogeons dans la troisième étude sur le rôle de la fluence, et particulièrement de la fluence relative, dans les variations de distances liées au coût des actions.

Enfin, la troisième partie est une discussion générale dans laquelle nous faisons une synthèse de nos travaux et discutons des implications théoriques qui en découlent. Nous nous attarderons également sur les limites de nos études et présenterons des perspectives de recherches pour l'avenir.





# 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

La première partie de cette thèse est consacrée à l'exposition des différents éléments théoriques supportant les trois questions de recherche que nous formulons. Dans un premier temps nous ferons une brève mise en perspective afin de clarifier le cadre théorique dans lequel nous inscrivons ce travail. Nous aborderons notamment le caractère exploratoire de la perception et verrons en quoi il nous semble nécessaire de la considérer en étroite relation avec l'action. Dans un deuxième temps nous aborderons la notion de contraintes des actions ainsi que leurs nombreux effets rapportés dans la littérature sur la perception des distances. Nous terminons cette partie en énonçant notre première question de recherche. Dans la troisième partie nous décrivons les différents mécanismes cognitifs pouvant rendre compte des effets spécifiques à l'action énoncés dans la deuxième partie. La fin de cette partie est consacrée à l'intégration sensorimotrice et à l'approche idéomotrice. La deuxième question de recherche s'inscrit dans ce cadre théorique. Enfin, nous traiterons dans une quatrième partie de la fluence – et plus particulièrement de la fluence relative – et tenterons de voir en quoi il semble pertinent de considérer un tel concept au moment de comprendre le rôle de coût engendré par les contraintes des actions sur la perception des distances.

Également, nous tenons à préciser que ce travail se concentre exclusivement sur les effets des actions sur la perception. C'est pourquoi aucune mention ne sera faite des sources classiques inhérentes à la perception visuelle telles que celles remarquablement énoncées par Cutting et Vishton (1995). Également, pour une revue de ces différentes sources, nous renvoyons les curieux lecteurs et lectrices vers l'excellent travail de thèse de Nicolas Morgado (2014).

### 1.1. Mise en perspective

L'une des questions fondamentales à propos de la vision à laquelle les sciences cognitives classiques se sont attachées à répondre est la suivante : comment des stimulations sur notre rétine se transforment-elles en perceptions du monde ? La réponse apportée à une telle question a été directement inspirée par l'approche cognitive – ou computationnelle – selon laquelle la vision, comme toute autre activité cognitive, est constituée de plusieurs étapes, lesquelles impliquent des états initiaux et finaux bien définis. Dans le cas de la vision, ces différentes étapes correspondent notamment aux traitements spécifiques appliqués à l'image rétinienne capturée par l'œil humain, et opérant en cascade à la manière d'algorithmes (Marr, 1982). Par exemple, pour déduire la distance entre un individu et un objet – ou sa profondeur dans le champ visuel – le système visuel commence par traiter les deux images rétiniennes afin de calculer le degré de disparité entre les points rétiniens correspondant à l'image perçue. Ensuite, à l'aide de la distance entre les deux yeux et de l'angle formé par leurs lignes visuelles respectives, le système visuel calcule la profondeur de l'objet par une simple loi de trigonométrie (Marr & Poggio, 1976). Dès lors, cette approche éminemment computationnelle reste la même pour l'ensemble des processus visuels. Le point de départ de ce traitement séquentiel étant l'image rétinienne, et le point d'arrivée, une représentation symbolique du monde physique dépouillée de toute dimension sensorielle et/ou motrice.

Selon cette conception, comprendre la vision se réduit à comprendre les opérations algorithmiques transformant les entrées perceptives en productions symboliques abstraites. Appliquée à l'ensemble des processus cognitifs, ce raisonnement permet d'écarter de toute considération l'environnement dans lequel le sujet évolue, et plus encore, les interactions entre ces deux entités. En effet, si la cognition, considérée comme du traitement de l'information pur, se situe exclusivement – à un niveau temporel tout autant que spatial – entre les entrées perceptives et les sorties/productions motrices, alors, malgré les relations causales entretenues entre l'organisme et l'environnement, aucune attention n'est nécessaire au-delà du cerveau et de ses règles de traitement (Shapiro, 2010).



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Le fait de dépasser cette vision cérébro-centrée du fonctionnement cognitif, et plus spécifiquement de l'activité perceptive, présente deux enjeux majeurs. Le premier enjeu concerne la réunification entre les trois entités que sont le cerveau, le corps et l'environnement, et le désir d'appréhender l'activité cognitive comme un phénomène émergent de l'interaction entre ses trois entités. Le second enjeu concerne le caractère exploratoire de l'activité perceptive. Au-delà de postuler l'action comme un prérequis à toute activité perceptive, cette nouvelle approche instaure également la nécessité d'une rétroaction permanente entre action et perception, et s'affranchie d'une approche séquentielle où toute action interviendrait en bout de chaîne, comme conséquence d'un traitement initié par une stimulation perceptive.

Il existe plusieurs manières d'appréhender le comportement humain dans toute sa complexité. L'une d'entre elles consiste à séparer l'activité mentale de l'activité motrice. Autrement dit, faire une distinction entre le corps et l'esprit. Une autre manière est celle d'appréhender le sujet comme un animal évoluant dans un environnement particulier, et cherchant sans cesse à s'y adapter. En considérant la cognition humaine comme une faculté hautement développée ayant pour but d'accroître l'adaptation du sujet à son environnement, il devient impossible de séparer l'esprit du corps, et le corps de l'environnement. C'est cette seconde voie qu'a emprunté le psychologue J. J. Gibson (1979) lorsqu'il entreprit d'étudier la perception visuelle. Contrairement à l'idée cognitiviste selon laquelle les informations visuelles perçues doivent être enrichies par des inférences de manière à leur conférer une réalité sur laquelle notre cognition peut agir, J. J. Gibson soutient que l'ensemble des informations nécessaires à la compréhension de notre environnement sont déjà contenues dans le champ optique, ne nécessitant aucune interprétation ou computation a posteriori. L'approche de J. J. Gibson constitue une rupture avec les approches classiques en ce sens où elle s'affranchit de toute étape intermédiaire entre l'activité perceptive et la prise de conscience du monde perçu. Il évacue du débat la question des représentations symboliques et de leurs manipulations. Pour lui, le système perçoit des invariants – les relations entre les angles d'une surface, la profondeur relative des surfaces – dans le champ optique en perpétuels changements (déplacements du corps, mouvements de tête, saccades oculaires, déplacements d'objets, ...) et en extrait directement du sens. Ce que perçoit le sujet sont en fait des possibilités d'action offertes par les objets qui constituent l'environnement, et non

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

plus les propriétés élémentaires de ces mêmes objets. Pour prendre l'exemple d'une chaise, le sujet ne perçoit pas chaque élément (pieds, siège, dossier, ...) qu'il assemble pour reconstruire l'idée abstraite d'une chaise, il perçoit ce que lui permet de faire l'objet, à savoir l'action de s'asseoir. Autrement dit, ce sont les possibilités d'interaction offertes par son environnement en relation avec les propriétés de son organisme que perçoit le sujet – ce que Gibson nomme *affordances*. Ainsi, il qualifie la perception de directe, et affirme l'idée d'une forte interdépendance entre action et perception.

Cependant, Gibson n'est pas le premier à énoncer l'existence de liens étroits entre nos activités mentales et nos actions. On peut par exemple remonter à des auteurs comme William James (1890), ou un peu plus récemment Jean Piaget (1953), qui soulignent le rôle majeur des habiletés sensorimotrices dans le développement cognitif. Plus récemment, Varela, Thompson & Rosch (1991) définirent la cognition comme le produit d'une émergence à partir d'un couplage structurel entre un individu biologique et son milieu. Ils emploient le terme d'*énaction* pour qualifier la cognition même, en ce sens qu'ils la considèrent comme « une action inscrite dans un corps » et indissociable d'une histoire vécue. A la question de savoir comment un système cognitif fonctionne adéquatement, ils répondent : « Quand il devient partie intégrante d'un monde existant durable (comme le font les petits de chaque espèce) ». Non seulement la cognition ne peut en aucun cas être détachée du contexte dans lequel elle opère, mais elle doit être comprise comme une forme de résonance au contexte lui-même. Bien que radicale, des auteurs comme Chemero (2009), Shapiro (2010) ou encore Brooks (1991) peuvent être assimilés à cette approche unifiée où les mécanismes cognitifs sont perçus comme étant façonnés par nos interactions corporelles avec l'environnement et comme étant le produit de nos expériences sensorimotrices.

Selon une approche unifiée, la cognition serait donc distribuée à travers les interactions entre l'esprit, le corps et l'environnement (Wilson, 2002). Toujours selon une telle approche, et concernant l'activité perceptive, nous avons vu que le système visuel perçoit directement les possibilités d'interaction avec l'environnement enfin d'en extraire du sens. Voyons à présent en quoi cette approche implique également que la perception soit perçue comme une activité exploratoire.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Gibson nous dit que les invariants que nous percevons sont perçus comme tel uniquement dans un contexte de changement. Or, ces invariants peuvent être détectés par le système visuel uniquement à travers une activité motrice. Mais si, comme le soutient Gibson, la raison d'être du système visuel est justement de détecter ces invariants, alors les actions nécessaires pour recueillir les éléments visuels doivent être considérées comme des composants de ce même système visuel. Dès lors, l'activité visuelle devient indissociable du système moteur. Gibson considère qu'en aucun cas les informations ne nous parviennent passivement, mais qu'au contraire, elles doivent être pourchassées. Selon lui, les différents systèmes perceptifs comprennent les organes et les actions qui permettent cette exploration :

Each perceptual system orients itself in appropriate ways for the pickup of environmental information, and depends on the general orienting system of the whole body. Head movements, ear movements, hand movements, nose and mouth movements, and eye movements are part and parcel of the perceptual systems they serve ... They serve to explore the information available in sound, mechanical contact, chemical contact, and light.

(Gibson 1966: 58)

De la même manière, Kevin O'Regan et Alva Noë (2001) définissent l'expérience perceptive comme le résultat d'une activité sensorimotrice et l'établissement de contingences sensorimotrices – qu'il faut comprendre, à la manière de Gibson, comme des régularités, ou des invariants. Ces contingences sont sensorielles parce qu'elles dépendent du système visuel et des propriétés du monde auxquelles ce même système réagit ; elles sont motrices parce qu'elles dépendent de l'activité musculaires du corps. Ce qu'expliquent O'Regan et Noë (2001) est que l'exploration perceptive est précisément guidée par la connaissance de ces contingences sensorimotrices. En d'autres termes, les modes d'exploration de l'environnement ne sont pas simplement des moyens d'accéder à l'expérience perceptive, ils sont constitutifs de l'expérience perceptive. C'est la relation entre le déplacement de mon regard le long d'un objet et la modification de l'image rétinienne qui en découle qui constitue l'expérience perceptive. Selon eux, pour faire l'expérience de percevoir une bouteille, il faut que notre système nerveux ait des connaissances concernant certaines contingences sensorimotrices : nous avons la connaissance que lorsque nous déplaçons notre regard

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

vers le haut de la bouteille en direction de son goulot, les stimulations sensorielles varieront de la même manière que si une région plus étroite de la bouteille venait à entrer en contact avec notre fovéa. Et inversement si nous déplaçons notre regard vers le bas. Ainsi, l'expérience visuelle prend la forme des connaissances de contingences sensorimotrices associées à des stimulations visuelles.

Finalement, si notre expérience perceptive émerge du couplage entre nos systèmes perceptifs et nos systèmes moteurs en interaction avec notre environnement, l'étude des uns ne peut se faire sans la prise en compte des autres. Nous allons voir à présent comment la dimension corporelle a été introduite dans l'étude de la perception, et plus particulièrement de la perception des distances.

### **1.2. Les contraintes physiques et environnementales dans la perception des distances**

En 1995, Proffitt, Bhalla, Gossweiler et Midgett, entreprenaient une étude sur la perception de l'inclinaison des pentes et découvraient à travers les premiers résultats que les participants avaient tendance à surestimer l'inclinaison des pentes (Witt, Linkenauger, & Wickens, 2016). Cependant, les résultats d'une nouvelle session expérimentale révélèrent une atténuation de cette surestimation. Plus tard, les chercheurs se rendirent compte que la plupart des participants ce jour-là faisaient partie de l'équipe féminine de football de l'Université. La question se posa alors de savoir si la perception des pentes dépendait uniquement des informations visuelles, ou bien, si elle pouvait également être fonction de la forme physique des individus. Depuis, cette idée a fait l'objet de nombreuses études expérimentales et s'est avérée cohérente avec les résultats observés. Qu'il s'agisse de perception d'inclinaison de pentes (Bhalla & Proffitt, 1999; Schnall, Zadra, & Proffitt, 2010), de distances (White, Shockley, & Riley, 2013; Witt, Proffitt, & Epstein, 2004; Zadra, Weltman, & Proffitt, 2016), de taille (Cañal-Bruland & van der Kamp, 2009; Witt & Proffitt, 2005), de hauteur (Stefanucci & Geuss, 2010; Taylor, Witt, & Sugovic, 2011) ou de vitesse (Witt & Sugovic, 2010), des effets liés aux différents aspects de l'action ont été rapportés.

### 1.2.1. L'approche écologique comme source d'influence de la perception

L'ensemble des travaux initiés par l'étude de Proffitt et ses collègues (1995) trouvent leur inspiration dans l'approche écologique de J. J. Gibson (1979), selon laquelle les affordances jouent un rôle majeur dans la perception visuelle. Pour bien comprendre le concept d'affordance, on peut se référer aux travaux de Warren (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987) dans lesquels il propose une analyse des affordances en termes de dynamiques du système animal-environnement. Selon lui, la perception doit être appréhendée comme le reflet de ces dynamiques sous-jacentes. Dans une étude sur la perception des affordances lors d'une activité de franchissement de marches d'escaliers (Warren, 1984), il propose un modèle basé sur les propriétés biomécaniques du fonctionnement des jambes humaines, et détermine un ratio censé rendre compte d'une hauteur de marche optimale pour une taille de jambe donnée. Autrement dit, Warren propose un seuil optimal pour lequel l'organisme préfère réaliser l'action. Les résultats expérimentaux montrent que non seulement les participants catégorisent la hauteur de marche optimale déterminée par Warren comme étant la plus « franchissable » – c'est à dire celle qui afforde le plus l'action de franchir la marche – mais également que leur taux de consommation d'oxygène optimum par franchissement correspond à leurs évaluations perceptives, et ce, quelle que soit la taille des individus. Warren observe donc que la perception des affordances dépend directement de la dépense énergétique engendrée par les actions des participants. Cette dépense énergétique étant directement liée aux propriétés de l'organisme en interaction avec celles de l'environnement, ce sont bien des dynamiques du système animal-environnement dont dépendrait la perception de ces affordances (Warren, 2006).

Cependant, la particularité des travaux sur la perception des affordances est de s'intéresser à la manière dont les individus appréhendent leurs actions, et s'ils les jugent réalisables ou non en fonction d'un contexte spécifique. En ce sens, Warren emploie les termes de contraintes informationnelles – pour qualifier les propriétés visuelles de l'environnement spécifiant les différentes structures perceptibles par l'individu – ainsi que contraintes physiques ou biomécaniques – pour qualifier les limites comportementales des individus engendrées par leurs particularités

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

corporelles. A l'inverse, les études que nous allons présenter s'intéressent à la manière dont les affordances, ou les possibilités d'action de manière plus générale, influencent la perception. Pour autant, la notion de contraintes reste tout aussi centrale dans la mesure où les contraintes physiques, celles relatives à l'individu, ainsi que les contraintes externes, celles relatives à son environnement, façonnent nos représentations spatiales.

### 1.2.2. Le coût énergétique : une contrainte physiologique

La dépense énergétique semble donc influencer notre perception visuelle. Que ce soit pour évaluer la hauteur d'une marche ou l'inclinaison d'une pente, l'effort physique à fournir pour interagir de manière cohérente avec ces deux situations semble impacter notre manière de les percevoir. Mais ce type d'influence ne se limite évidemment pas à ces deux situations. Proffitt, Stefanucci, Banton et Epstein (2003) se sont intéressés à l'influence du poids d'un sac à dos sur la perception de distances égocentrées (i.e., des distances dont le point de référence est l'individu). Dans cette étude, leur objectif était de reproduire sur une tâche d'évaluation de distances égocentrées les résultats obtenus lors d'une tâche d'inclinaison de pente (Bhalla & Proffitt, 1999). Si l'effort nécessaire pour gravir une pente influence la perception de son inclinaison, alors il devrait en être de même pour des distances égocentrées. Les auteurs ont simplement demandé à des participants d'évaluer verbalement différentes distances délimitées par des cibles (i.e., des cônes) depuis un point fixe sans réaliser d'action particulière (étude 1). Dans un premier groupe, les participants portaient un sac à dos pesant entre 1/5ème et 1/6ème de leur propre poids. Dans un second groupe, les participants ne portaient aucun sac à dos.

Conformément à l'étude sur l'inclinaison des pentes, les participants portant le sac à dos évaluaient les distances comme étant plus grandes que les autres participants. Ce résultat suggère que l'effort à fournir pour parcourir les différentes distances influence directement les évaluations des participants. Bien que les participants ne réalisaient pas l'action de marcher, les auteurs attribuent les différences observées à l'anticipation de l'effort nécessaire à la réalisation de l'action. Cependant, cette interprétation a été vivement critiquée par certains auteurs n'étant pas parvenu à répliquer les mêmes résultats (Durgin et al., 2009; Hutchison & Loomis, 2006), suggérant que les variations de perception observées étaient

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

imputables non pas à des effets perceptifs mais post-perceptifs. Nous reviendrons sur ce débat dans une prochaine partie.

En attendant, de nombreux résultats expérimentaux sont venus étayer l'idée selon laquelle le coût énergétique des actions réalisées influence notre perception spatiale. Par exemple, et comme nous venons de l'évoquer, les pentes apparaissent plus inclinées lorsque les personnes sont en faible forme physique, fatiguées, portent un sac à dos, en surpoids, privées de nourriture, âgées ou en mauvaise santé (Bhalla & Proffitt, 1999; Eves, Thorpe, Lewis, & Taylor-Covill, 2014; Schnall, Zadra, & Proffitt, 2010; Taylor-Covill & Eves, 2014; Taylor-Covill & Eves, 2013); les distances apparaissent plus grandes pour les personnes qui ont l'intention de produire un effort plus conséquent pour marcher, sauter ou lancer sur lesdites distances (Lessard, Linkenauger, & Proffitt, 2009; Stefanucci, Proffitt, Banton, & Epstein, 2005; Witt, Proffitt, & Epstein, 2004; Witt, Proffitt, & Epstein, 2010) ou lorsque leur dépense énergétique est manipulée expérimentalement (White et al., 2013). Mais on peut également citer des travaux suggérant que la manipulation du taux de glucose dans le sang influence la perception des distances (Cole & Balci, 2013; Zadra, Weltman, & Proffitt, 2016; Zadra, Schnall, Weltman, & Proffitt, 2010). Ces derniers travaux avaient l'avantage de manipuler directement l'état physiologique des sujets en proposant des boissons énergisantes ou des placebos (en plus de quelques exercices physiques), et en contrôlant le taux de glucose dans le sang grâce à des prélèvements sanguins. Les résultats ont montré que les participants ayant ingéré du glucose percevaient les distances plus courtes que les participants ayant ingéré un placebo. Ainsi, autant sur la base d'études manipulant les ressources énergétiques de manière indirecte que directe, il semblerait que les facteurs bioénergétiques aient un impact sur la perception spatiale. Ils agiraient comme des contraintes physiologiques à intégrer au moment d'évaluer l'environnement.

### **1.2.3. De la spécificité des actions : la conséquence de nos comportements**

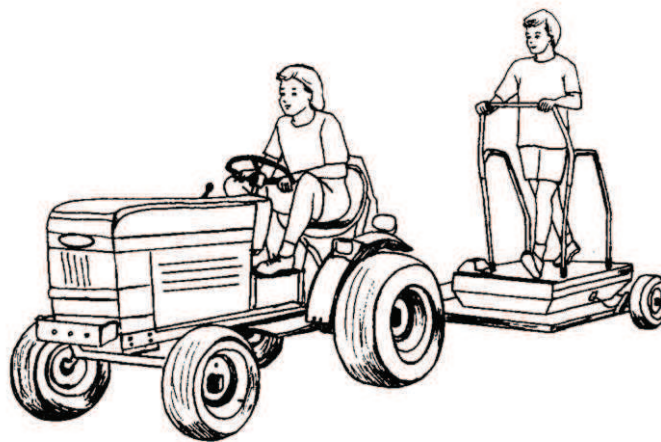
Mais ces études, et particulièrement celle de Proffitt et ses collègues (2003), posent une nouvelle question : est-ce que les effets observés de l'effort physique sur la perception sont généralisables à l'ensemble des jugements, ou bien sont-ils



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

spécifiques à une situation ou à un type d'action en particulier. Autrement dit, est-ce que l'effort physique requis pour marcher peut influencer un jugement lié à un autre type d'action. La question est ici de savoir si la planification d'un comportement – que nous pouvons appeler intention – joue un rôle, tel un filtre par exemple, dans l'expression de variables motrices sur la perception.

Cette question était notamment rendue légitime par les travaux de Rieser, Ashmead et Garing (1995) qui observèrent qu'une incohérence entre le flux optique et la vitesse de défilement d'un tapis de course influençait des tâches de marche-aveugle mais pas de lancer à l'aveugle (étude 6). Plus spécifiquement, tout en étant tracté par un mini-van, des participants marchaient sur un tapis roulant qui avançait à une vitesse non-correspondante à la vitesse de marche (plus vite ou moins vite). Avant et après cette tâche, les participants devaient évaluer la distance à une cible soit en marchant jusqu'à la cible avec les yeux bandés, soit en lançant un sac de 100g avec les yeux bandés. Les comparaisons entre les mesures pré-test et post-test montraient une influence de l'activité de marche sur tapis roulant uniquement sur les mesures réalisées en marche aveugle, et non sur celles réalisées en lancer à l'aveugle. Ainsi, les effets observés sur la marche ne se généralisaient pas sur les lancers de sac – et réciproquement après une avoir lancé des sac vers des cibles tout en étant en mouvement (étude 7). Selon les auteurs, si la phase de réadaptation avait induit un recalibrage global de l'effort, alors la tâche de lancer à l'aveugle aurait aussi dû être impactée.



**Figure 1.1** – Dispositif expérimental utilisé par Rieser, Ashmead et Garing (1995).



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Toujours dans une étude sur la perception de distances égocentrées, Witt, Proffitt et Epstein (2004) ont cherché à savoir si une augmentation de l'effort associé à la marche pouvait influencer la perception de distance lorsque des participants ont l'intention de lancer une balle sur la distance donnée plutôt que de la parcourir en marchant (étude 5). Autrement dit, est-ce qu'un recalibrage (recalibration en anglais) de l'effort pour marcher peut affecter la perception des distances si les participants ont l'intention de lancer. Les chercheurs ont demandé à des participants de marcher sur un tapis de course défilant à 5 km/h. Evidemment, le flux optique des participants était nul puisque le « paysage » ne défilait pas (i.e., zero optic flow condition). Les participants réalisaient des jugements de distance par évaluation verbale avant et après cette manipulation. Là encore, le but était de comparer les pré-tests aux post-tests. Pour la moitié d'entre eux, chaque évaluation était suivi soit d'une marche aveugle jusqu'à la cible, soit d'un lancer de sac. De cette manière, chaque évaluation se faisait avec l'intention soit de marcher, soit de lancer. D'après les résultats, les participants marcheurs surévaluaient la distance en post-test comparé au pré-test, alors que les participants lanceurs sous-évaluaient la distance en post-test comparé au pré-test. En d'autres termes, une même dépense énergétique liée à de la marche sur tapis roulant provoquait une augmentation des évaluations de distance uniquement pour les participants marcheurs et non lanceurs. La contrainte de l'effort physique serait pertinente uniquement si le même type d'effort est envisagé.

Ce résultat semble donc confirmer le caractère spécifique de l'influence des actions et de leurs contraintes sur la perception : si la perception des distances semble être fonction du coût énergétique associé à nos actions, elle est également fonction de nos intentions d'actions. De manière caricaturale, nous pourrions dire que quel que soit l'effort que nous venons de produire en marchant, si notre intention est de lancer un projectile vers une cible, notre perception de la distance jusqu'à la cible ne s'en trouverait aucunement impactée. Sur la base de ces travaux, Witt et ses collègues énoncent l'idée selon laquelle la perception dépend des propriétés spatiales de l'environnement couplées à nos intentions d'action et au coût énergétique qu'elles engendrent (Witt et al., 2004). Ils nomment cette approche théorique « action-specific perception account » (Proffitt, 2008; Witt, 2011). Cependant, bien que développée à la suite de travaux portant sur l'influence du coût des actions, cette théorie s'étend à des comportements plus larges que le simple effort physique ainsi que sur d'autres types

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

de jugements. Par exemple, des joueurs de softball avec de meilleures performances perçoivent la balle plus grosse que ceux avec de faibles performances (Gray, 2013; Witt & Proffitt, 2005), des joueurs de golf avec de meilleures performances perçoivent la taille du trou plus grande que ceux avec de moins bonnes performances (Cañal-Bruland, Zhu, der Kamp, & Masters, 2011; Witt, Linkenauger, Bakdash, & Proffitt, 2008), la vitesse d'une balle est perçue plus grande par des joueurs de tennis après un coup raté qu'après un coup réussi (Witt & Sugovic, 2010). Également, dans l'eau, des nageurs performants perçoivent les distances plus courtes que des nageurs moins performants (Witt, Schuck, & Taylor, 2011), et des experts du Parkour perçoivent les murs moins grands que ne le font des novices (Taylor et al., 2011).

Ainsi, l'idée d'une influence d'une action spécifique sur la perception se vérifie sur de nombreux types de jugement, et permet de mettre l'accent sur d'autres variables que le coût énergétique. En effet, dans ces dernières études, les habiletés motrices des individus ainsi que le niveau de performances semblent être des sources importantes d'influence de la perception des différents éléments de l'environnement. Dès lors, une nouvelle formulation de l'approche de la perception spécifique à l'action peut être faite : la perception dépendrait de nos capacités à interagir avec notre environnement. Non seulement le système visuel intégrerait l'effort requis pour réaliser une action, mais il prendrait également en compte la probabilité de réussite ou d'échec de cette même action. Cette probabilité se basant en partie sur l'issue de nos actions passées, la perception serait en partie le produit des conséquences de nos actions passées (Witt et al., 2008; Witt & Proffitt, 2005).

Pour résumer, nous avons vu qu'en plus des contraintes physiologiques, la perception serait sensible aux contraintes comportementales, à la fois en terme d'intentions d'actions qu'en terme de performances – habiletés motrices et conséquences des actions. Mais un autre type de contraintes a émergé de l'étude des liens entre perception et action. Il s'agit des contraintes morphologiques. Les contraintes morphologiques renvoient à la forme, la structure, la composition ainsi que la taille du corps d'un individu. Nous allons voir à présent en quoi elles jouent un rôle fondamental dans la perception visuelle de l'espace.

### 1.2.4. Les contraintes morphologiques

La morphologie, nous disent Proffitt et Linkenauger (2013), suppose des contraintes liées à la fois au type d'actions que nous sommes en mesure de réaliser ainsi qu'à leur degré de réalisation. Ainsi, nos bras nous permettent d'atteindre des objets dans notre environnement, mais nos capacités maximales d'atteinte sont conditionnées par la longueur de nos bras et leur angle de flexion (p. 181). La question qui se pose alors est de comprendre en quoi la morphologie, et donc les limites d'action – « action boundaries » (Fajen, 2005) – qui lui sont inhérentes, participent du processus perceptif. En d'autres termes, en quoi le fait d'être des animaux bipèdes prédisposés à nous déplacer sur des plans horizontaux peut-il influencer la manière dont nous percevons notre environnement et les distances le composant.

Parmi les premières compétences que les jeunes enfants se doivent d'acquérir afin d'interagir de manière efficace avec leur environnement, il faut compter celle d'intégrer les limites de leurs actions. En effet, qu'il s'agisse de saisir un objet en l'attrapant, ou d'atteindre un autre objet en tendant le bras, connaître sa capacité maximale d'« attrapabilité » et d'« atteignabilité » est essentiel. Cette connaissance chez le jeune enfant s'acquière par essais et erreurs tout au long du développement. Par exemple, aux alentours de 5 mois, lorsqu'il est éveillé et alerte, le bébé peut réaliser entre 100 et 250 mouvements de main toutes les 15 minutes (Wallace & Whishaw, 2003) ; également, un enfant de 14 mois peut parcourir jusqu'à 7 terrains de football par heure et chuter une quinzaine de fois (Adolph, 2008) ! Ainsi, les jeunes enfants apprennent dès leur plus jeune âge à associer des informations visuelles spécifiques à leurs limites d'action. Ces informations visuelles deviennent alors la conséquence des mouvements et/ou des actions réalisées, et cette boucle perceptivo-motrice devient indissociable.

D'un point de vue expérimental, il est alors pertinent de mesurer l'impact des limites des actions sur la perception. Un des moyens de répondre à cette question est d'observer chez des participants les effets que pourraient avoir un changement de limites d'actions sur leur perception de distances. Pour cela, de nombreuses études se sont intéressées à l'influence de l'utilisation d'un outil augmentant les capacités

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

d'atteinte des participants sur leur perception. Par exemple, il a été montré que lorsque des participants percevaient des cibles qui étaient hors d'atteinte sans outil (i.e., un bâton) mais atteignable grâce à un outil, ces cibles étaient perçues plus proches lorsque l'outil était disponible pour l'atteindre que lorsqu'il ne l'était pas (Bourgeois, Farnè, & Coello, 2014; Farnè & Làdavas, 2000; Osiurak, Morgado, & Palluel-Germain, 2012; Witt & Proffitt, 2008; Witt, Proffitt, & Epstein, 2005). Une des particularités de ces études est que les distances en question sont des distances comprises dans l'espace péripersonnel, ou juste au-delà. L'espace péripersonnel se réfère à l'espace d'action directe dans lequel nous pouvons agir sans avoir à nous déplacer (Berti & Frassinetti, 2000; Iachini, Ruotolo, Vinciguerra, & Ruggiero, 2017). Il est en opposition à l'espace extrapersonnel qui se réfère à l'espace au-delà de cette limite. Ainsi, une des conséquences de l'utilisation d'un outil est l'augmentation concrète de cet espace. Pour autant, cette augmentation concrète entraîne-t-elle des conséquences perceptives ?

Pour le savoir, des études ont utilisé des tâches de bissection de lignes. Dans ce type de tâche, le participant a pour consigne d'indiquer le milieu d'une ligne à l'aide d'un pointeur laser. Un résultat particulier concernant cette tâche est que les personnes droitières présentent un biais de bissection vers la gauche lorsque les lignes sont présentées dans l'espace péripersonnel, et à mesure que la ligne s'éloigne, ce biais se corrige pour basculer vers la droite lorsque la ligne est présentée dans l'espace extrapersonnel (Varnava, McCarthy, & Beaumont, 2002). L'espace péripersonnel étant défini par les limites d'atteinte des individus, ce biais de bissection est logiquement corrélé à la longueur de bras des individus. En effet, plus les participants avaient le bras long, plus ce basculement vers la droite opérait loin des participants (Longo & Lourenco, 2007). Mais, fait encore plus intéressant, lorsque les participants utilisaient un bâton pour indiquer le centre de la ligne, le biais de bissection vers la gauche apparaissait pour toutes les distances (Lourenco & Longo, 2009), suggérant que l'augmentation de la capacité maximale d'atteinte impacte directement les biais perceptifs. Ces biais perceptifs étant traditionnellement expliqués par des contraintes morphologiques (Longo & Lourenco, 2007; Lourenco, Longo, & Pathman, 2011), il semblerait que l'abolition de ces contraintes soit accompagnée de conséquences perceptives instantanées. Des résultats similaires ont été observés dans d'autres études

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

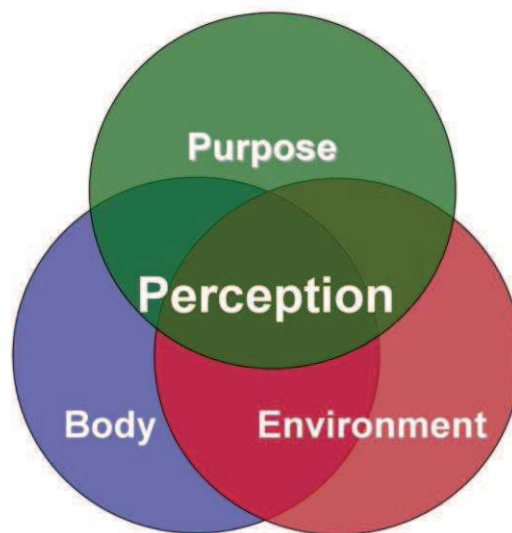
portant sur la bissection de lignes (Berti & Frassinetti, 2000; Gamberini, Seraglia, & Priftis, 2008) renforçant ainsi le lien entre les limites d'action et ce biais perceptif.

D'autres exemples portant sur l'effet de la morphologie sur la perception ont été rapportés. Ainsi, changer la taille apparente du corps chez des participants à l'aide de la réalité virtuelle (van der Hoort & Ehrsson, 2014; van der Hoort, Guterstam, & Ehrsson, 2011) entraîne des perceptions de distances différentes, tout comme donner l'illusion d'une taille de main plus grande crée l'illusion chez des participants que des objets sont de plus grande taille (Haggard & Jundi, 2009). Pour autant, dans ce type d'expériences, les informations visuelles sont exactement les mêmes suivant les différentes conditions expérimentales, ce qui tend à montrer que le type de corps que nous possédons joue un rôle déterminant dans notre activité perceptive.

En se basant sur les trois types de contraintes que nous venons d'énumérer (physiologiques, comportementales et morphologiques), Linkenauger et Proffitt (2013) ont proposé une nouvelle formalisation consistant à considérer la perception comme l'expression du phénotype. Par phénotype, il faut comprendre « l'ensemble des caractéristiques observables d'un organisme issues de l'interaction entre son héritage génétique et l'environnement » (e.g., Herskowitz, 1977, p. 723 et 729 ; Morgado, 2014, p. 26). Leur proposition est que l'expérience perceptive découlerait directement de ces interactions, et donc des contraintes inhérentes à ces trois dimensions. Pour évaluer l'environnement, l'individu utiliserait ces trois dimensions pour mettre à l'échelle (« to scale ») le monde environnant, et le corps serait l'outil de mesure de référence auquel se rapporterait cette mise à l'échelle. Par exemple, pour la dimension physiologique, un certain type d'informations visuelles (e.g., un plan incliné) serait mis en correspondance avec les ressources énergétiques nécessaires pour réaliser une action en lien avec ces informations. Ainsi, il existerait un lien de co-variation entre l'effort réalisé et les variations du flux optique. Une variation de l'un (augmentation de l'effort physique) entrainerait une variation de l'autre (augmentation de l'inclinaison de la pente perçue). Pour la dimension morphologique, la longueur de bras servirait d'échelle pour déterminer si un objet est atteignable, traduisant ainsi les distances en portions d'atteignabilité. En utilisant cette limite d'action (i.e., l'atteignabilité) comme règle perceptive, un même point sera proportionnellement plus proche pour une personne avec de longs bras que pour une

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

personne avec des bras plus courts. Enfin, la dimension comportementale influence la perception en fonction du type d'action envisagé, c'est-à-dire du phénotype le plus pertinent pour l'action réalisée, et de la probabilité à réussir cette action. Par exemple, si l'intention d'un individu est de saisir un objet, c'est de la taille de sa main qu'il se servira pour évaluer – ou mettre à l'échelle – la taille de l'objet et la faisabilité de l'action ; si son intention est d'atteindre un objet, il se servira de sa longueur de bras. Ainsi, en combinant les informations issues de ses trois dimensions, notre système mettrait en correspondance nos intentions et les propriétés extérieures de notre environnement dans le but d'atteindre ses objectifs d'actions (Proffitt & Linkenauger, 2013).



**Figure 1.2** – Illustration représentant la perception comme l'expression de l'interaction entre le corps du sujet, ses intentions et l'environnement (Proffitt & Linkenauger, 2013)

### 1.2.5. Des contraintes environnementales

Le nombre de contraintes des actions influençant la perception visuelle est donc vaste : contraintes comportementales, contraintes morphologiques, contraintes physiologiques (Proffitt & Linkenauger, 2013; W. Sparrow & Newell, 1998). Dans cette partie nous allons brièvement nous arrêter sur ce que nous appelons les contraintes environnementales, et voir en quoi elles sont également constitutives de nos expériences perceptives.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Morgado et ses collègues (Morgado, Gentaz, Guinet, Osiurak, & Palluel-Germain, 2013) se sont posés la question de savoir dans quelle mesure l'expérience perceptive des individus pouvait intégrer les propriétés de l'environnement telles que des obstacles. Ce questionnement faisait suite à de nombreuses études mettant en évidence l'influence que l'utilisation d'outils peut avoir sur la perception des distances et celle de l'espace péripersonnel (Bloesch, Davoli, Roth, Brockmole, & Abrams, 2012; Brockmole, Davoli, Abrams, & Witt, 2013; Kirsch, Herbort, Butz, & Kunde, 2012; Osiurak et al., 2012; Witt & Proffitt, 2008; Witt et al., 2005) – de tels effets étant expliqués par une modification du schéma corporel intégrant les nouvelles capacités d'atteinte des individus (Cardinali et al., 2009). La logique de Morgado et ses collègues était donc d'étendre cette idée d'une modification des possibilités d'action comme facteur d'influence aux propriétés même de l'environnement, et non plus uniquement aux caractéristiques morphologiques augmentées des individus. Pour cela, les auteurs ont utilisé des obstacles et ont pu ainsi étudier l'influence sur la perception des propriétés de l'environnement ayant un impact sur la capacité d'atteinte des sujets, tout en ne modifiant rien des propriétés intrinsèques des individus ni de la cible.

Dans cette étude (Morgado, Gentaz, et al., 2013), des participants devaient évaluer des distances les séparant d'un cylindre positionné derrière un obstacle transparent. Les distances à évaluer étaient placées dans l'axe sagittal des participants. Afin de faire varier les contraintes liées aux propriétés de l'environnement, la largeur de l'obstacle variait entre 10 et 30 centimètres. Dans une telle situation, la distance euclidienne restait inchangée, seule la taille de l'obstacle variait. Avant chaque évaluation, les participants devaient réaliser une tâche d'imagerie mentale afin de s'imaginer se saisir du cylindre en contournant l'obstacle et sans bouger de leur chaise. Afin de s'assurer de l'efficacité de cette tâche d'imagerie, les participants réalisaient effectivement la tâche de saisie en début d'expérience sur un obstacle de 15 cm. Dans cette condition, la saisie du cylindre par contournement était relativement facile. Cependant, elle permettait aux participants de se rendre compte du coût de l'action engendré par l'obstacle, et donc leur fournir une base proprioceptive conforme à la réalisation de l'action. Afin d'évaluer les distances, les participants devaient réaliser une tâche de comparaison en ajustant la position d'un



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

point aligné sur un axe décalé de 45° par rapport à l'axe sagittal des participants. Cet ajustement se faisait à l'aide d'un clavier d'ordinateur et consistait à avancer et/ou reculer le point de comparaison afin de faire correspondre la distance à évaluer et la distance au point de comparaison.

Comme prédit, les auteurs observaient un effet de la taille de l'obstacle. Parmi les trois obstacles utilisés dans la phase test (10, 20 et 30 cm), la différence statistique ressortait entre l'obstacle le plus large et les deux autres obstacles. En revanche, aucune différence n'apparaissait entre le petit obstacle et l'obstacle médian. Ces différences étaient d'autant plus grandes que les distances à évaluer étaient importantes. L'autre résultat intéressant concernait l'évaluation que les participants devaient réaliser à propos du degré d'effort nécessaire pour atteindre et se saisir du cylindre derrière l'obstacle. Cette évaluation se faisait a posteriori. Logiquement, les auteurs ont observé que le coût lié à l'imagination du geste d'atteinte était plus important pour l'obstacle le plus large, traduisant une cohérence entre les évaluations de distances et l'appréciation proprioceptive des participants. Plus le coût de l'action augmentait, plus leurs évaluations traduisaient cette augmentation. Ces résultats étaient donc cohérents avec les nombreuses autres études présentées précédemment, et étendait l'idée d'une influence des capacités motrices intrinsèques à celle d'une influence des capacités en lien avec les contraintes environnementales. De plus, cette étude corroborait des travaux précédents ayant montré que les coûts biomécaniques associés au franchissement d'obstacles jouaient un rôle déterminant dans la planification motrice lors d'un geste d'atteinte (Cohen, Biddle, & Rosenbaum, 2010) ou durant la marche à pieds (Patla & Rietdyk, 1993).

Une autre étude particulièrement intéressante concernant l'influence des propriétés de l'environnement sur la perception visuelle et les différentes modulations dont elle peut faire l'objet est celle de Lessard, Linkenauger et Proffitt (2009). De prime abord, cette étude s'apparente à celles citées plus haut dans la mesure où les auteurs ont manipulé le coût énergétique et ont mesuré son impact sur l'évaluation de la taille d'un fossé. La manipulation du coût énergétique se faisait à l'aide de poids accrochés aux chevilles. Le premier résultat montre en effet que lorsque les participants étaient équipés de poids, ils évaluaient le fossé plus long que lorsqu'ils n'étaient pas équipés de poids. Cependant, l'autre aspect intéressant de cette étude réside dans la manipulation par les expérimentateurs de la « sautabilité » du fossé



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

(jumpability, en anglais), c'est-à-dire, la capacité des participants à effectivement franchir le fossé en sautant par-dessus. Ainsi, dans une condition, le fossé était assez étroit pour être franchi, dans une autre, il était trop long pour être franchi en sautant. En comparant les résultats des deux conditions, les auteurs ont observé une forte interaction entre les deux facteurs (« sautabilité » et présence ou absence des poids) révélant que l'effet des poids observé lorsque le fossé était franchissable disparaissait lorsque ce dernier n'était plus franchissable. Dès lors, cette étude montrait que la diminution des capacités d'action entraînait une surestimation des distances, mais uniquement lorsque les actions en question restaient réalisables. Au-delà d'une certaine limite, l'effet des contraintes des actions sur la perception n'était plus observable sur les jugements des participants.

Cette étude est donc particulièrement éclairante sur le rapport entretenu entre les caractéristiques intrinsèques des individus et les propriétés de l'environnement. S'il semble indispensable que nos perceptions intègrent les variations liées à nos capacités d'interaction avec notre environnement (e.g., selon notre morphologie ou notre état physiologique), le fait d'abandonner de telles variations dès lors que l'environnement annihile toute possibilité d'action semble refléter le caractère hautement adaptatif de la perception visuelle. Comme nous le verrons par la suite, notre première question de recherche porte en partie sur cette question puisqu'elle implique l'interaction avec un objet dont le poids varie selon certaines conditions. La dénomination de contraintes environnementales que nous utilisons a donc pour ambition de refléter les variations de nos capacités provoquées non pas par un changement d'état de l'individu, mais par un changement d'état de l'environnement a priori sans incidence sur les processus perceptifs.

### **1.2.6. Vers un environnement étendu : la prise en considération de nouveaux points de référence**

Sur la base des travaux que nous venons d'énumérer, il semblerait que la perception et l'action fonctionnent non pas de manière indépendante mais bien de manière correspondante afin de renseigner au mieux l'individu sur sa capacité à réaliser les actions souhaitées. En proposant une approche unifiée, il s'agirait de soutenir l'idée que la dimension corporelle de l'activité humaine ne constitue pas

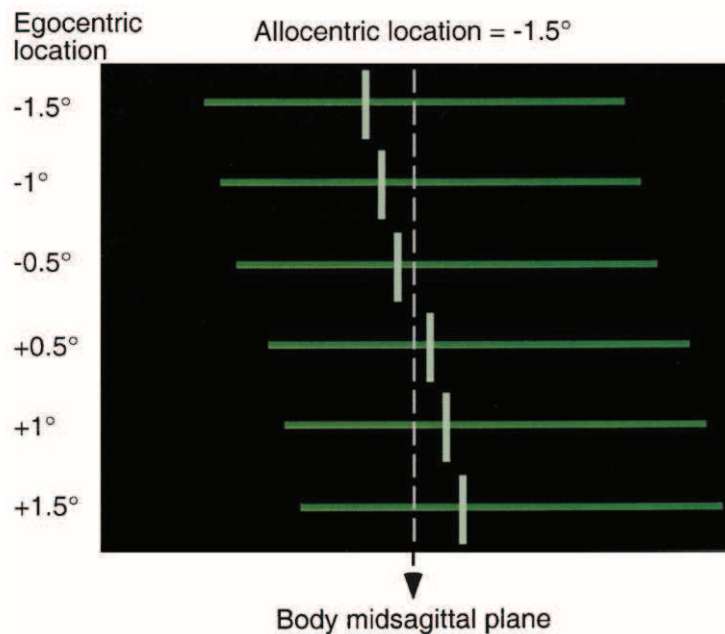
## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

simplement une source d'influence pour notre perception, mais qu'elle en est constitutive. En effet, dans le domaine de la perception des distances, l'expérience perceptive serait une forme de dérivée du corps, ré-exprimant phénoménologiquement la nature des interactions que nous entretenons avec notre environnement. Le corps étant le point de départ de toute expérience, il semble logique que l'espace soit perçu en référence au corps biologique et aux contraintes auxquelles il est soumis (Proffitt & Linkenauger, 2013 ; Morgado & Palluel, 2015). Cependant, parmi les capacités qui sont les nôtres, nous ne pouvons restreindre la perception visuelle et spatiale à des distances prenant le corps comme point de référence. Qu'il s'agisse de distances extrêmement grandes (e.g., regarder l'horizon), de distances abstraites (e.g., l'éloignement entre deux villes), ou de distances allocentriques (e.g., la distance séparant deux objets indépendants de l'observateur), l'implication du corps semble, a priori, moins évidente. Et par conséquent, en s'intéressant à des espaces « indépendants » ou « externes », la dimension corporelle de nos perceptions peut à nouveau être questionnée. Nous allons à présent nous intéresser à la perception de distances allocentriques, ainsi qu'au rôle des différents points de référence utilisés lors de ce type de tâches.

Les distances dites allocentriques se distinguent des distances dites egocentriques de par leur indépendance vis à vis de l'observateur. Ce sont des distances représentées par deux points situés dans un espace externe et indépendant de la position de l'observateur (Klatzky, 1998). Inversement, une distance égocentrique se caractérise par la prise en considération de l'observateur comme point de départ de la distance. Si ces deux types de distances diffèrent, c'est bien pour spécifier le degré d'implication de l'observateur vis à vis de ces espaces respectifs, mais pas uniquement. Au-delà de l'implication de l'observateur, c'est également le degré de planification des actions qui est visé par les deux définitions que l'on donne à ces deux types de distances. Par exemple, Galati et al., (2000) expliquent que les distances sont envisagées d'un point de vue égocentré lorsque les individus sont dans une forme de préparation de mouvements à but dirigé (« goal-directed movements », p. 156) tels que des mouvements d'atteinte de cibles ou d'évitement de stimuli dangereux. En revanche, le point de vue allocentré est lui privilégié lorsque les individus cherchent à mettre en relation les différents éléments de leur environnement tels que les rapports de distance entretenus par des objets (ou des parties d'objets). Toutefois, en conditions

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

écologiques, les objets sont toujours perçus depuis un point de vue égocentré, ce qui laisserait penser que les points de référence égo- et allocentrés entretiendraient des fortes interactions. Cependant, l'expérience perceptive émergeant des référentiels égo- et allocentrés semblent présenter quelques dissociations que Galati et ses collègues (2000) n'ont pas manqué de pointer.



**Figure 1.3** – Exemples de stimuli utilisés par Galati et al. (2000). Ici, la couleur et la position relative à l'objet de la barre verticale étaient fixes, mais la position égocentrique variait constamment.

Dans leur étude, ces auteurs se sont intéressés aux dissociations neuronales observables durant des tâches de jugement spatial en conditions égo- et allocentrées. Plus spécifiquement, leur objectif était d'identifier les structures cérébrales impliquées dans la « computation » de représentations spatiales égocentriques (i.e., prenant le tronc comme point de référence) et allocentriques (i.e., prenant un objet comme point de référence). Ils ont, pour cela, utilisé des techniques d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et ont comparé les signaux BOLD (Blood-Oxygen-Level Dependent) des participants lors d'une tâche de jugement spatial selon deux conditions<sup>1</sup>. Dans une première condition, les participants devaient indiquer si une

<sup>1</sup> Il y avait une troisième condition contrôle dans laquelle les participants effectuaient une tâche de jugement non-spatial. Nous préférons ne pas l'évoquer car elle ne représente pas un apport significatif à notre propos.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

barre verticale, qui croisait une ligne horizontale, était située à droite ou à gauche de leur axe mid-sagittal (point de vue égo). Dans une deuxième condition, ils devaient indiquer si cette même barre était située à droite ou à gauche du centre de la ligne horizontale (point de vue allo). Les résultats ont montré une superposition partielle des zones cérébrales impliquées dans les deux types de tâches. Conformément à la littérature (Vallar et al., 1999), pour la tâche égo, des zones bilatérales du cortex fronto-pariétal – un peu plus étendu dans l'hémisphère cérébral droit – étaient activées, mais la tâche allo faisait également appel à des sous-ensembles des zones du même réseau neuronal. Dès lors, un recoupement de certaines zones venait confirmer l'idée d'une interaction forte entre les deux types de tâches tout en pointant des variations significatives. Ces variations étaient corroborées par des études portant sur des patients ayant subis des lésions cérébrales et présentant des difficultés dans certains types de tâches (Humphreys & Riddoch, 1994; Karnath, Schenkel, & Fischer, 1991).

Au-delà du cadre théorique dans lequel s'inscrit cette étude et qui n'est pas le nôtre (l'étude utilise un modèle computationnel et représentationnel de la perception pour rendre compte de l'expérience perceptive), il semblerait que les deux types d'espace précités engendrent des expériences perceptives de nature – plus ou moins légèrement – différentes. Pour servir notre propos, et essayer de comprendre comment ses dissociations se manifestent dans l'expérience perceptive, nous allons voir en quoi les contraintes des actions ainsi que leurs conséquences peuvent influencer la perception de distances allocentriques.

Une distance allocentrique représente un espace entre deux points de l'environnement indépendants de l'observateur. Comme nous l'avons dit précédemment, adopter un point de vue allocentré ou égocentré peut s'avérer utile selon le type d'action qui est envisagé. Si on considère l'action de passer à travers une ouverture de largeur variable (e.g., l'encadrement d'une porte), il convient de dire que le point de vue allocentré est préférable puisqu'il s'agira ici de juger de la distance entre le bord droit et le bord gauche de l'encadrement. Dans une expérience sur la « passabilité d'ouverture », Warren et Whang (1987) ont montré, comme lors de l'expérience de 1984 sur le franchissement d'une marche, qu'un ratio pouvait être établi afin de déterminer le seuil critique au-delà duquel les individus envisagent de se

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

tourner pour franchir l'ouverture<sup>2</sup>. Ainsi, ils observent que la relation entre les contraintes morphologiques des individus et les caractéristiques de leur environnement sert de base à la perception des affordances sur une distance allocentrique. Plus récemment, Stefanucci et Geuss (2009) ont étendu ces résultats concernant non plus la perception des affordances mais bien des distances allocentriques. Les auteurs ont mesuré l'impact du changement des dimensions corporelles sur l'évaluation de largeurs d'ouverture. Au moment de l'évaluation, ils ont demandé à des participants de tenir une tringle de rideau parallèlement au sol en la saisissant par chaque extrémité de manière à augmenter leur largeur de corps (étude 2). Le résultat principal de cette étude a montré que les largeurs étaient perçues plus petites lorsqu'ils tenaient la tringle que lorsqu'ils ne tenaient pas la tringle et gardaient leurs bras le long du corps. De plus, lorsque les participants avaient les bras dans la même position que s'ils tenaient la tringle sans toutefois la tenir, leur perception de la largeur des ouvertures était similaire à lorsqu'ils tenaient la tringle. Là encore, il semblerait que les contraintes morphologiques des individus impactent directement l'évaluation qu'ils font de leur environnement. Du moment que les participants adoptaient une attitude élargie en écartant les bras, leurs évaluations des distances allocentriques diminuaient, suggérant, selon les auteurs, que lorsque nous nous approchons d'une ouverture, notre système visuel ajuste de manière dynamique la largeur de l'ouverture perçue à la taille de notre corps et aux actions que notre corps est capable d'accomplir (p. 1793). Enfin, cette étude confirmait de précédents résultats établissant un lien entre les variations de largeur du corps et la perception de la « passabilité d'une ouverture » (Wagman & Taylor, 2005).

À la suite de cette étude, Stefanucci et Geuss (2010) en ont réalisé une nouvelle, toujours sur la perception de distances allocentriques. Cette fois-ci les distances étaient représentées par la hauteur entre le sol et une barrière. Au-delà d'une surestimation générale qui se retrouvent dans les études sur la perception de hauteurs (Jackson & Cormack, 2007; Sinai, Ooi, & He, 1998; Jeanine K. Stefanucci & Proffitt, 2009), les résultats ont montré que la hauteur de la barrière était liée à la capacité des participants à passer sous la barrière. Ce qui est intéressant, c'est que ce n'est pas seulement la possibilité de réaliser l'action qui a influencé les évaluations des

---

<sup>2</sup> Ce seuil est représenté par le rapport entre la largeur d'épaules de l'individu et la largeur de l'ouverture (A/S) est de 1,30, indiquant

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

participants, mais bien la réalisation effective de l'action. La perception des participants était donc corrélée à leur performance et pas uniquement à l'anticipation de cette performance. Un autre résultat similaire est celui rapporté par Witt et Dorsch (2009). Dans leur étude les chercheurs ont demandé à des participants d'évaluer la largeur et la hauteur de poteaux d'embut d'un terrain de football américain. Ces évaluations se faisaient avant puis après avoir shooté 10 fois dans le ballon avec pour but de le passer entre les poteaux. Les évaluations se faisaient à l'aide d'une reproduction miniature des poteaux que les participants devaient ajuster de manière à ce qu'elle corresponde aux poteaux qu'ils percevaient. Les résultats n'ont révélé aucune différence d'évaluation entre les participants avant la série de shoots. En revanche, après avoir shooté, les participants ayant réussi 3 shoots ou plus évaluaient la distance entre les poteaux comme étant plus large que les participants ayant réussi 2 shoots ou moins. Également, le type d'erreurs aux shoots influençait leur perception de manière spécifique. Plus les shoots manqués portaient trop à droite ou trop à gauche, plus la distance entre les poteaux était perçue étroite. Plus les shoots manqués étaient courts, plus la barre horizontale des poteaux était perçue haute. Ainsi, les évaluations des participants étaient corrélées à leurs performances. A nouveaux, ces résultats corroborent ceux rencontrés dans la littérature sur le lien entre performance et perception de tailles (e.g., Cañal-Bruland, Pijpers, & Oudejans, 2010; Cañal-Bruland et al., 2011; Cañal-Bruland & van der Kamp, 2009; Witt & Proffitt, 2005; Witt & Dorsch, 2009).

Action et perception des distances allocentriques semblent donc partager des liens très étroits. Que les manipulations expérimentales portent sur les contraintes des actions ou sur les performances liées aux actions réalisées, la perception des espaces allocentriques semble influencée. Bien évidemment, la particularité des expériences précédentes est que le sujet, au moment d'évaluer les distances, est plus ou moins directement engagé dans une action vis à vis de ces distances. Cependant, Grade, Pesenti et Edwards (2015) ont récemment rapporté des résultats suggérant que la dimension motrice présente dans des tâches de jugement d'atteinte et de jugement de distances égocentriques était absente lors de tâches de jugement de distances allocentriques. Alors que les participants réalisaient une tâche concurrente dans laquelle ils devaient manipuler une balle en mousse – action nécessitant qu'une seule main – ou soulever des poids – action nécessitant tout le bras –, ils devaient indiquer

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

verbalement s'ils étaient capables d'atteindre avec leurs bras un point projeté sur une table en face d'eux (pour un paradigme de tâche concurrente similaire, voir Witt & Proffitt, 2008).

Dans un deuxième temps, et toujours durant une des deux tâches concurrentes, ils devaient évaluer verbalement la distance entre eux-mêmes et un point projeté sur la table, puis dans un troisième temps, ils devaient évaluer des distances allocentriques représentées par des points projetés sur la table. Chaque type de jugement était également réalisée sans tâche concurrente afin d'obtenir une condition contrôle. Les distances égocentriques à estimer variaient de 35 à 165 cm. Les distances allocentriques variaient de 8 à 64 cm. Dans cette étude, les auteurs se sont intéressés aux temps réponses, les évaluations de distances et d'atteinte ne présentant pas de différences selon les conditions. Après analyses, les résultats ont montré que la tâche concurrente sollicitant la main avait un impact sur les temps de réponses uniquement sur les jugements de type égocentrique et non allocentrique. La tâche concurrente sollicitant le bras entier n'avait d'influence sur aucun des jugements, comparé à la condition contrôle. Selon les auteurs, cette absence d'influence de la tâche concurrente sur les jugements de distances allocentriques révèle une absence d'implication des processus de simulation motrice dans la représentation spatiale de la distance. Le principe étant que si une tâche indépendante influence le temps de réponse pour un certain type de jugement, alors les processus moteurs engagés dans la réalisation de la tâche concurrente doivent également participer, de près ou de loin, au jugement en question.

Autrement dit, si la réalisation d'une action concurrente sollicitant la main influence des jugements d'atteinte et de distances égocentriques proches, cela signifierait que les processus moteurs engagés pour contrôler la main sont aussi impliqués dans des tâches de jugements égocentriques (pour une critique de ce raisonnement, voir Mahon, 2015; Stasenko, Garcea, & Mahon, 2013). En l'absence d'interférence dans les temps de réponse sur les jugements allocentriques, les auteurs concluent donc à une non-implication des processus moteurs en question. Cependant, cette conclusion ne peut être étendue qu'aux processus engagés durant la tâche concurrente, celle d'utiliser la main. Rien n'indique que d'autres processus moteurs ne participent pas de tels jugements (égo- et allocentriques). De plus, juger de l'atteignabilité d'un point, ou juger une distance égocentrique dans un espace proche, induit quasi-nécessairement une implication motrice du sujet. En revanche,



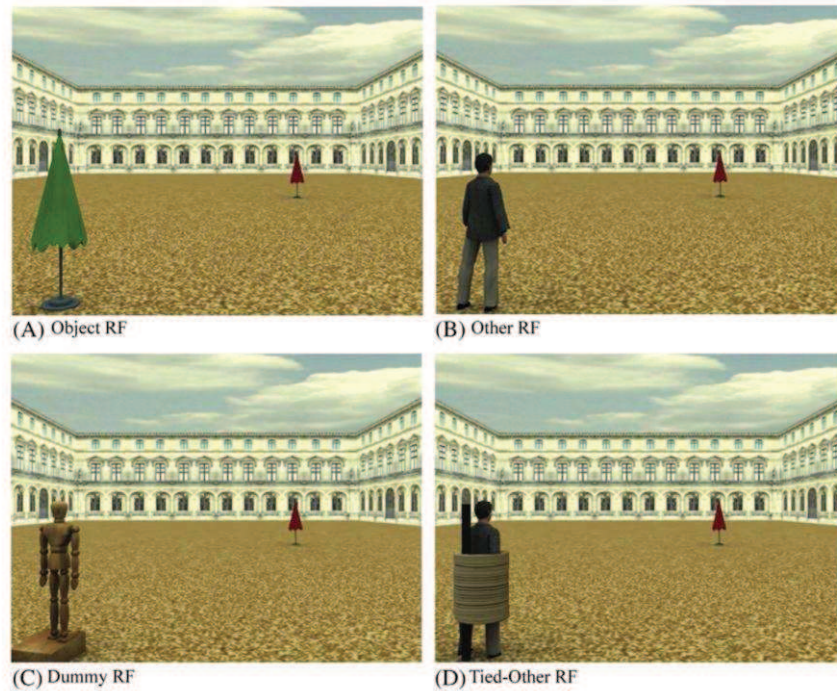
## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

l'implication motrice sous-jacente à un jugement de type allocentrique, sans intention claire d'action de la part du sujet, semble moins intuitive. En ce sens, les résultats de Grade et ses collègues (2015) nous semblent parfaitement cohérents.

Dans un travail portant à nouveau sur des distances allocentriques, Fini, Brass et Committeri (2015) se sont intéressés, de manière indirecte, au rôle que pouvait jouer le point servant de référence (Reference frame en anglais) à ce type de distances. Leur objectif premier était de déterminer si la perception de l'espace pouvait être influencée par la présence d'autres individus. Cependant, leurs manipulations expérimentales et leurs résultats offrent un point de vue original sur le rôle et la nature du point de référence. Dans leur étude, des participants devaient déterminer si un parapluie se situait proche ou loin d'un point de référence. Ce point de référence variait : il était représenté soit par un autre parapluie, soit un avatar humain, soit par un pantin en bois de la même taille que l'avatar, soit par un avatar humain attaché et donc incapable de se mouvoir. A ce stade, il convient de préciser que l'expérience se déroulait en réalité virtuelle. La position du parapluie variait de manière linéaire et ascendante puis descendante, afin de contrer un potentiel effet d'hystérèse (Viglieno, 2013). Les participants devaient simplement dire à partir de quelle position ils estimaient que le parapluie passait de proche à loin vis-à-vis du point de référence, ou de loin à proche. Les chercheurs étaient donc intéressés par le seuil de basculement moyen de catégorisation. Les résultats recueillis révélèrent que ce seuil de basculement moyen se situait plus loin lorsque le point de référence était un avatar humain comparé à lorsque c'était un pantin, un autre parapluie, ou un avatar humain attaché. C'est-à-dire que les participants considéraient que le parapluie à juger était loin « plus longtemps » lorsqu'il était jugé par rapport à un humain plutôt qu'à un non-humain, ou par rapport à un humain dont les capacités de mouvement étaient restreintes, voire inexistantes. Tout se passerait comme si les possibilités d'action qui s'offraient à l'avatar humain étaient prises en compte par les participants pour juger de l'éloignement du parapluie vis-à-vis de ce même avatar. Et réciproquement, pour les autres points de référence ne présentant aucune possibilité de mouvement, l'éloignement du parapluie était raccourci par rapport à l'avatar humain mobile.



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES



**Figure 1.4** – Stimuli 3D utilisés dans l'étude de Fini et al. (2015). Les sujets devaient évaluer si le parasol rouge était proche ou éloigné du point de référence représenté soit par un parasol vert, un avatar libre de tous mouvements, un pantin, ou un avatar encordé.

Cette étude souligne le rôle du point de référence lors d'une tâche de catégorisation d'une distance allocentrique présentée dans l'espace extrapersonnel (i.e., un espace hors d'atteinte sans déplacement). En prenant comme point de référence un avatar humain, les participants catégorisaient l'espace comme étant plus grand que lorsque l'avatar était attaché ou lorsque le point de référence était un objet. Selon les auteurs, c'est bien le potentiel d'action « offert » par l'avatar humain, et non sa simple anatomie – ou caractéristiques morphologiques –, qui aurait induit de tels jugements. Dans le cas contraire, des effets similaires auraient été également observés avec le pantin en bois. Dès lors, et alors même qu'aucune intention d'action été induite chez le participant par l'expérimentateur, la dimension motrice influençait le jugement de distances allocentriques. Les participants jugeaient leur environnement en prenant en compte non pas uniquement leurs propres contraintes et possibilités d'action, mais également en prenant en compte celles d'un autre « individu » situé proches d'eux. Comme si, d'une certaine manière, les participants adoptaient le point de vue d'autrui pour juger un espace sur lequel ils n'étaient pas directement engagés. D'un point de vue expérimental, ce résultat concorde assez bien avec la littérature

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

concernant le changement de perspective. En effet, il a été montré qu'en présence d'autrui, nous avons tendance à prendre automatiquement en considération le point de vue d'autrui au moment d'évaluer notre environnement (Cardellicchio, Sinigaglia, & Costantini, 2013; Costantini, Committeri, & Sinigaglia, 2011; Costantini, Committeri, et al., 2011; Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews, & Bodley Scott, 2010; Surtees & Apperly, 2012; B. Tversky & Hard, 2009). Cependant, cette influence de l'avatar – et de sa capacité à se mouvoir – sur l'évaluation de l'espace pose une autre question, que soulèvent d'ailleurs Fini et ses collègues (2015) : est-ce que le corps humain représenté par l'avatar n'influencerait pas la perception de l'espace des participants en tant que simple « outil » offrant des possibilités d'action, plutôt que par sa condition même d'humain ? Autrement dit, est-ce qu'en utilisant un objet non humain capable de se déplacer ou d'être déplacé, des résultats similaires pourraient être observés ?

### 1.2.7. Question de recherche n°1

Un des objectifs de ce travail de thèse est de comprendre plus en avant les liens qu'entretiennent les systèmes moteur et perceptif. Autrement dit, affiner nos connaissances sur la contribution de nos actions et de leurs conséquences dans l'émergence de nos expériences perceptives. Nous avons vu jusqu'à présent que les distances allocentriques comme les distances égocentriques pouvaient être influencées par des variables liées à l'action, telles que la modification de la morphologie (Stefanucci & Geuss, 2009; Wagman & Taylor, 2005; Warren & Whang, 1987) ou le type performances (Cañal-Bruland & van der Kamp, 2009; Stefanucci & Geuss, 2010; Witt & Dorsch, 2009). Également, nous avons vu que les possibilités d'action d'une tierce personne pouvaient influencer la perception de distances allocentriques (Fini et al., 2015). Ainsi, le point de référence d'une distance allocentrique, selon les possibilités ou les contraintes qu'il offre à l'observateur, semble influencer la perception de l'observateur.

Dans une première étude, nous avons cherché à savoir si la modification du coût énergétique induit par la nature du point de référence, lors de l'évaluation d'une distance allocentrique, pouvait influencer la perception de cette même distance allocentrique. L'idée étant d'utiliser comme point de référence non plus un avatar

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

humain mais un objet « invitant » les participants à une action plus ou moins coûteuse en termes d'effort physique. Notre première question de recherche était donc la suivante :

**L'utilisation d'un outil aux potentiels d'action variables en tant que point de référence peut-elle influencer la perception de distances allocentriques ?**

### **1.3. Les mécanismes cognitifs dans la perception des distances**

La perception est-elle directe ou fait-elle appel à des processus inférentiels intermédiaires ? Si la question des liens étroits existant entre perception et action ne fait plus vraiment débat aujourd'hui (Mossio & Taraborelli, 2008), de nombreuses divergences concernant les processus sous-jacents demeurent. Après avoir rendu compte d'un certain nombre d'effets de variables motrices sur la perception de différents types de distances, nous allons tenter de présenter les principales théories modernes de la perception visuelle de l'espace.

#### **1.3.1. La nouvelle perception directe empruntée à l'approche écologique**

Selon la théorie de la perception directe, les configurations spatiales de l'environnement sont déterminées par des informations contenues dans des champs d'énergies ambiantes, tels que le champ optique (Gibson, 1979). Cette théorie diffère des théories classiques par l'absence de référence à des mécanismes intermédiaires censés « construire » la perception par un assemblage d'informations issues de l'image rétinienne et par une série d'inférences. A la place, Gibson propose que l'information comprise dans le flux optique – composé de structures invariantes de lumière – est suffisante pour l'observateur, et ne nécessite aucune interprétation pour en extraire du sens.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

La justification d'une non-nécessité de processus inférentiels trouve justement son origine dans cette idée de structures invariantes de lumière<sup>3</sup>, mais pas uniquement. Les notions de temps et de mouvement y sont tout autant essentielles. L'idée générale étant que l'environnement est spécifié à l'observateur par la réflexion de la lumière sur ses différentes surfaces. Ainsi, une surface lisse réfléchira la lumière différemment qu'une surface rugueuse. De la même manière, les limites des surfaces (e.g., le bord d'une table) seront spécifiées par un changement d'intensité de réflexion de la lumière. L'ensemble de ces réflexions compose donc des structures. Et ce sont ces mêmes structures que Gibson considère de nature invariante, en ce sens où au fil des déplacements de l'observateur, ces structures vont maintenir des relations de proportionnalité leur conférant une cohérence dans l'espace et le temps. Par exemple, lorsqu'un observateur se déplace, la structure lumineuse réfléchi par la surface d'une table évolue d'une forme parallélogramme à une autre. Pour autant, alors que l'image rétinienne évolue, la conscience que l'observateur a de cette table ne bouge pas et ses dimensions restent inchangées. C'est justement grâce à ces variations de forme que l'observateur peut extraire du sens de ce qu'il perçoit, puisque c'est par son déplacement et la multiplication des points de vue qu'il est capable de déterminer la forme de l'objet. Sachant qu'une même image rétinienne peut provenir de deux objets distincts, sans mouvement, l'observateur serait en incapacité de déterminer à quel type d'objet il a affaire. Il est donc nécessaire à l'observateur de se mouvoir pour accéder à un flux de transformation d'un point de vue à un autre, lequel est riche d'information quant aux surfaces composant son environnement. Plus encore, si l'on considère que les stimulations visuelles s'étirent dans le temps, plutôt qu'elles se présentent sous la forme de clichés instantanés, l'idée que le système visuel ait besoin de recourir à des processus inférentiels afin de déterminer les différentes structures de l'environnement à partir de stimulations ambiguës perd de son intérêt.

Ainsi, les informations contenues dans le champ optique composé de structures visuelles stables seraient suffisantes pour qu'un individu en extraie du sens concernant sa relation avec l'environnement. Cette relation – ce que Gibson appelle le

---

<sup>3</sup> Gibson distingue deux types de source lumineuse : la première étant la lumière diffuse dans l'atmosphère que l'on perçoit en regardant un ciel bleu homogène, et la seconde est la lumière réfléchi par les surfaces des différents objets composant l'environnement. Il peut s'agir aussi bien d'une montagne, d'un sol en terre, comme d'une table ou une chaise. Ainsi, Gibson définit la lumière diffuse comme sans structure, alors que la lumière réfléchi représente un champ structuré de lumière.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

système animal-environnement – serait un des points centraux dans la perception directe. Comme nous l’avons évoqué précédemment, ce que perçoivent les individus, selon Gibson, sont des possibilités d’action, des affordances. Lesquelles sont précisément spécifiées par les relations entre les différentes structures du champ optique et les caractéristiques physiques de l’observateur. Ainsi, lors de son exploration visuelle, lorsqu’un individu perçoit quatre variations verticales identiques surmontées d’une surface carrée d’une taille particulière, elle-même surmontée d’une surface rectangulaire verticale, le flux de transformations optiques évoquera l’action possible de s’asseoir sur ce qui est communément appelé « chaise ». À nouveau, aucune inférence, aucune ambiguïté concernant la nature des stimuli visuels ne devrait être comblée. La perception serait directe.

Comme mentionné dans de nombreux articles, l’action-specific perception account ainsi que l’approche phénotypique de la perception visuelle trouvent leur inspiration première dans les travaux de Gibson et son approche écologique (Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt, 2011; Witt & Proffitt, 2008). Selon ces deux conceptions, ce sont bien du type de relations qu’entretiennent les individus avec leur environnement dont dépendrait leur perception. Cependant, si l’on s’attarde sur la particularité de ces deux approches, une incohérence avec la nature directe de la perception surgit. En effet, si des variables telles que l’intention, l’effort physique ou la réussite d’une action influencent notre perception, alors cela suppose que différentes expériences perceptives peuvent émerger d’une seule et même scène visuelle. Par voie de conséquence, cela suggère que des mêmes informations optiques sont sujettes à interprétation, et que la perception des propriétés spatiales de l’environnement serait issue d’une médiation par des facteurs internes liés à l’action. Une telle interprétation constituerait une menace pour l’idée selon laquelle la perception serait directe (Witt & Riley, 2014).

Pour résoudre cette incompatibilité apparente, Witt et Riley (2014) proposent une voie réconciliatrice entre l’approche écologique et l’action-specific perception account. Leur objectif était de rendre compte, toujours selon une approche directe de la perception, des variations observées selon les différents contextes dans lequel l’observateur est placé. Si selon Gibson la perception visuelle se base sur le champ optique ambiant, selon Witt et Riley, la perception visuelle reposerait sur un champ

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

global (the global array en anglais) (Stoffregen & Bardy, 2001), ce qui permettrait notamment d'expliquer les effets perceptifs spécifiques à l'action. Le champ global est défini comme un champ d'ordre supérieur réunissant les champs d'énergie unique tels que le champ optique ou le champ acoustique. De cette réunification, ou assemblage, sont extraites les informations renseignant l'individu sur l'état du système animal-environnement.

Prenons l'exemple éloquent d'un voyageur assis dans un train arrêté en gare. Il arrive qu'en regardant par la fenêtre et en voyant un autre train défilier un voyageur ait la sensation que son propre train est en mouvement. Cependant, il n'en est rien. C'est bien l'autre train qui s'est mis en branle, et après quelques secondes, et en l'absence de sensations physiques de mouvement, le voyageur réalise que son propre train est à l'arrêt. Pour autant, et en supposant qu'aucun indice visuel autre que le second train ne soit détectable, cette illusion serait insolvable si jamais notre vision n'intégrait pas des sensations corporelles telles que la proprioception, des stimulations vestibulaires associées à l'accélération de la tête, ou d'autres variations tactiles ou acoustiques associées aux mouvements du corps. Si seules les informations optiques étaient prises en considération par le système visuel, l'individu serait incapable de déterminer si la scène visuelle – le flux optique provoqué par le défilement du train – évoque un mouvement de l'autre train ou de son propre train. De plus, cette illusion est particulièrement favorisée dans un train où les sensations de mouvements sont moins perceptibles qu'en voiture ou dans d'autres situations de déplacement du quotidien.

Le propos de Witt et Riley est donc d'affirmer que les stimulations visuelles sont couplées à l'ensemble des stimulations auxquelles est soumis l'organisme – regroupées sous le terme de champ global – lors d'une expérience perceptive. Par conséquent, ce terme de champ global se doit d'inclure des sensations liées aussi bien aux contraintes physiologiques, morphologiques, que comportementales. Pour cela, le système visuel se devrait d'intégrer des informations concernant l'environnement extérieur (i.e., l'exteroception), concernant la position et les mouvements de ses différents membres (i.e., la proprioception), concernant le corps en relation à l'environnement (i.e., l'exproprioception<sup>4</sup> ; Lee, 1978; Sherrington, 1906), mais aussi

---

<sup>4</sup> Selon Gibson (1966, 1979), les informations exteroceptives impliquent nécessairement l'animal, en ce sens où toute information à propos de l'environnement est récupérée d'un point de vue subjectif



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

concernant les états physiologiques ou physiques internes tels que la faim, l'effort, la fatigue, le rythme cardiaque, des sensations viscérales ou encore le taux d'oxygène et de dioxyde de carbone dans le sang (i.e., l'interoception ; Cameron, 2002; Craig, 2002; Sherrington, 1906). Si ce dernier terme d'interoception représente encore une très large catégorie de sensations identifiables par l'individu – de manière consciente ou inconsciente – par de nombreux mécanismes et routes sensorielles (Khalsa, Rudrauf, Feinstein, & Tranel, 2009), de nombreux résultats expérimentaux semblent indiquer que l'activation de structures cérébrales impliquées dans l'interoception soit reliée à des tâches de prise de décision, de focus attentionnel, d'imagination ou de réalisation d'efforts physiques, de planification d'actions futures, ainsi que de contrôle moteur (Williamson et al., 2001).

Ainsi, Witt et Riley (2014) réaffirment l'idée d'une perception directe non plus confinée aux informations optiques capturées par l'individu, mais à l'ensemble des informations détectables par l'organisme. Cependant, si cette nouvelle formalisation d'une perception directe étendue au champ global semble cohérente, elle n'explique pas nécessairement les variations perceptives liées, par exemple, à l'intention. Pour pallier à ce manque, les auteurs proposent, dans la lignée de l'approche écologique, que les intentions de l'individu orienteraient l'attention portée aux différents champs énergétiques. Cela expliquerait notamment les effets perceptifs spécifiques à l'action, ainsi que l'influence de performances sportives sur l'évaluation de distances, de tailles, ou de largeurs. En effet, si la perception est fonction de la capacité à détecter des informations, les variations d'évaluations perceptives liées à différentes intentions d'action pourraient refléter des changements dans l'utilisation des différentes variables informationnelles. Également, alors que les sensations interoceptives s'affinent par la pratique d'activités physiques (Bestler, Schandry, Weitkunat, & Alt, 1990; Montgomery & Jones, 1984; Schandry & Bestler, 1995), nos performances dans certaines activités pourraient orienter le type de variables informationnelles auxquelles notre organisme juge pertinent de prêter attention. Enfin, nos états internes tels que la faim ou la fatigue pourraient jouer un même rôle d'orientation attentionnelle de sorte qu'un animal dans un état physiologique particulier oriente son attention sur une variable particulière. De cette manière, la poursuite d'un objectif,

---

occupée par un organisme/animal. Ainsi, toute information exteroceptive serait par nature exproprioceptive.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

motivé par des variables aussi bien cognitives que physiologiques, aurait pour conséquence la sélection de certaines variables au détriment d'autres variables, et résulterait en différentes expériences perceptives.

En résumé, Witt et Riley (2014) proposent que l'ensemble des relations du système animal/environnement soit spécifié par l'information contenue dans le champ global, et que la perception soit déterminée par cette information. De plus, ces relations seraient perçues directement, et ce serait la perception de ces mêmes relations qui expliqueraient les variations observées dans des tâches d'évaluation perceptive concernant les propriétés spatiales de l'environnement.

### **1.3.2. La critique de l'action-specific perception account**

Malgré un consensus largement partagé sur l'existence d'effets de l'action sur des jugements perceptifs, un certain nombre de critiques ont émergé à la suite des premiers résultats expérimentaux rapportés par les équipes de Proffitt et Witt (Durgin et al., 2009; Durgin, DeWald, Lechich, Li, & Ontiveros, 2011; Durgin, Klein, Spiegel, Strawser, & Williams, 2012; Woods, Philbeck, & Danoff, 2009). Notamment, ces critiques portent sur les interprétations qui sont faites des résultats et sur la nature des effets observés. Si l'action-specific perception account attribue ces effets à des processus purement perceptifs, les critiques affirment, au contraire, que ces effets seraient de nature post-perceptive et n'interviendrait que dans un second temps, au moment de l'évaluation, indépendamment de l'expérience perceptive éprouvée par l'individu.

En effet, selon les tenants de l'action-resistant perception approach (Philbeck & Witt, 2015, p. 1123), les variations observées dans les études portant sur l'influence des actions et de leurs contraintes sur la perception ne seraient que le résultat d'artefacts tels que des biais de demande, ou biais de réponse. Les biais de demandes correspondent à des conditions expérimentales pouvant influencer ou orienter les réponses des participants. Ainsi, les participants anticiperaient de manière plus ou moins inconsciente les hypothèses des chercheurs et fourniraient des réponses allant dans le sens des hypothèses. Cette critique consiste à attribuer la responsabilité des effets observés à des processus cognitifs indépendants des processus perceptifs.



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Concrètement, si des participants évaluent les pentes d'une colline plus inclinées lorsqu'ils portent un sac-à-dos lourd plutôt que lorsqu'ils n'en portent pas, c'est parce qu'ils feraient l'inférence que le sac-à-dos est censé influencer leurs évaluations des pentes. De plus, si le participant sait que le sac-à-dos rend l'ascension de la pente plus difficile, il fera probablement l'inférence que l'expérimentateur suppose que les pentes paraîtront plus inclinées (Witt et al., 2016). Cette interprétation était notamment motivée par des résultats expérimentaux démontrant que les consignes, ou l'absence de consignes, données aux participants à propos du dispositif expérimental influençaient leurs évaluations (Durgin et al., 2009). Plus spécifiquement, les expérimentateurs expliquaient à des participants que le sac-à-dos contenait un dispositif permettant de mesurer leur activité électromyographique. À d'autres participants, aucune indication n'était donnée quant au port du sac-à-dos. Les résultats montraient une surévaluation des pentes uniquement chez les participants à qui rien n'avait été indiqué. Selon les auteurs, la transparence de l'hypothèse dans cette condition aurait poussé les participants à se conformer aux attentes des chercheurs. Les autres participants, quant à eux, n'auraient subi aucune influence du sac-à-dos étant donné que son poids était justifié et indépendant vis-à-vis de la tâche de jugement perceptif. Aucune hypothèse, même inconsciente, ne pouvait donc être formulée le concernant.

Un autre type de critique a été formulé concernant les interprétations réalisées dans le cadre de l'action specific perception account. Selon Firestone (2013), l'action specific perception account manquerait de pertinence d'un point de vue adaptatif. Il avance plusieurs arguments, mais un d'entre eux a particulièrement retenu notre attention. Selon lui, le manque de conscience phénoménologique des différentes perceptions dont nous pouvons faire l'expérience serait une preuve que des processus post-perceptifs seraient responsables des effets observés. En d'autres termes, si nous percevions effectivement les distances plus ou moins grandes en fonction de nos états corporels ou de nos intentions, nous devrions être capables d'en détecter des signes phénoménologiques. Dans son article, il invite notamment le lecteur à tester cette hypothèse en essayant lui-même de détecter des variations phénoménologiques liée à l'utilisation d'outils augmentant la capacité d'atteinte et censée provoquer une compression des distances chez le sujet (Witt & Proffitt, 2008). Selon nous, cette approche de la perceptive humaine est trop ambitieuse en ce sens où elle suppose que

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

nous serions capable de discriminer consciemment toutes les variations perceptives dont nous faisons l'expérience. Par exemple, Proffitt (2013) cite le cas des saccades oculaires dont la fréquence moyenne est de plusieurs par seconde. Malgré des changements constants du champ visuel qu'elles provoquent, nous sommes incapables, même en y prêtant attention, d'en prendre conscience, et l'expérience phénoménologique qui est la nôtre est une expérience stable et constante. De plus, des études ont montré l'influence de stimuli subliminaux sur des tâches de reconnaissance (Whittlesea, 1993) ou de sentiment de contrôle (Chambon & Haggard, 2012; Sidarus, Chambon, & Haggard, 2013). Ces expériences montrent qu'en l'absence de conscience phénoménologique de ces stimuli, les participants sont malgré tout influencés par ces mêmes stimuli. L'argument de Firestone selon lequel l'action-specific perception account serait une vision paternaliste de la vision – en ce sens où notre perception serait sensible aux contraintes physiques auxquelles nous faisons face ainsi qu'à nos intentions – nous semble ainsi peu recevable.

Enfin, tout récemment, de nouveaux résultats, en plus de ceux déjà existants (Kirsch, Ullrich, & Kunde, 2016; pour une revue, voir Witt, 2017), sont venus appuyer la thèse selon laquelle les effets liés à l'action seraient bel et bien perceptifs plutôt que basés sur des biais de réponse (King, Tenhundfeld, & Witt, 2017). Les chercheurs ont utilisé le paradigme expérimental Pong, où la difficulté à bloquer une balle à l'aide d'une raquette virtuelle impacte la perception de la vitesse de cette balle. Pour faire varier difficulté, les chercheurs faisaient varier la taille de la raquette virtuelle. Ainsi, plus la raquette est petite, plus la balle est perçue comme rapide. Dans cette version de l'expérience, les chercheurs fournissaient un feedback explicite au participant après chaque jugement de vitesse (étude 2). Ainsi, si l'effet habituellement observé est dû à un biais de réponse, le feedback devrait agir comme une source d'information aussi valable que tout autre artefact supposément responsable de l'effet. Or, les résultats montrent que l'effet lié à la taille de la raquette persiste malgré le feedback et laissent penser que l'effet spécifique à l'action serait bel et bien de nature perceptive.

### 1.3.3. Les simulations motrices

Si l'action-specific perception account ainsi que l'approche phénotypique de la perception ont fait l'objet de nombreuses critiques, il n'en reste pas moins que les nombreux résultats expérimentaux rapportés par ces postulats théoriques (pour une revue complète voir Witt et al., 2016) semblent abonder dans le sens de la nature perceptive des processus impliqués dans l'influence des capacités motrices sur la perception. Néanmoins, la proposition de Witt et Riley (2014) selon laquelle les relations du système animal/environnement seraient spécifiées par l'information contenue dans le champ global ne propose aucune formalisation pour rendre compte de certains effets liés à l'anticipation des conséquences sensorimotrices des actions. En effet, si nos actions futures – par le biais de nos intentions – semblent capables d'influencer nos jugements perceptifs, il semble que la seule prise en compte des informations contenues dans le champ global ne suffise pas à expliquer de tels effets.

La proposition la plus développée pour expliquer la nature anticipatrice de la perception de l'espace est celle de la simulation motrice (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Gallese, 2016; Jeannerod, 2001; Witt & Proffitt, 2008). Bien que le terme de simulation motrice (ou motor simulation ou embodied simulation en anglais) puisse se référer à une variété de conceptualisations, toutes s'accordent sur un de ses rôles majeurs, à savoir la capacité à imaginer ou anticiper les actions futures. De plus, le concept de simulation motrice a été étendu à de nombreuses fonctions cognitives telles que le contrôle moteur et la planification motrice (Jeannerod, 2001), la théorie de l'esprit (Gallese & Goldman, 1998), le traitement du langage (Bergen & Wheeler, 2010; Pulvermüller, 2005), l'apprentissage par imitation (Goldman, 2005) ou encore la reconnaissance d'outils (Johnson-Frey, 2004; Witt, Kemmerer, Linkenauger, & Culham, 2010). Ainsi, la particularité des simulations motrices serait de simuler, de manière consciente ou inconsciente, les actions futures et/ou immédiates évoquées par un contexte particulier.

Sur le plan neurologique cette proposition reste cohérente dans la mesure où de nombreux travaux ont notamment attesté d'un recouvrement entre les aires cérébrales impliquées dans la réalisation d'une action et les aires cérébrales impliquées lors de la simulation volontaire, ou l'imagination, de ces mêmes actions (pour une revue, voir

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Gallese, 2000; Rizzolatti, Fogassi, & Gallese, 2000), suggérant une réutilisation (reuse en anglais, Gallese, 2016) des mêmes circuits neuronaux. Plus particulièrement, Gallese explique que dès lors qu'un même réseau neuronal ou un même état ou processus mental est recruté à des fins différentes (e.g., percevoir et manipuler), alors il convient de parler de réutilisation. Également, ce principe de réutilisation se retrouve lors d'activités motrices et d'activités perceptives. De plus, chez le macaque, il a été mis en évidence que certains neurones répondant aux stimulations sensorielles situées au niveau de l'épaule s'activaient également et spécifiquement lorsque des stimuli visuels étaient présentés dans leur espace péripersonnel, i.e., leur espace d'atteinte et d'action immédiate (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996).

Toujours chez des primates, des résultats similaires ont montré que les mêmes neurones permettant de contrôler la main lors d'une action de saisi d'un petit objet étaient également impliqués lors de l'observation d'un objet aux caractéristiques de préhension similaires (Murata et al., 1997; Raos, 2005). Les objets étaient différents, mais l'action de saisi qu'ils suggéraient était la même. Ces résultats montrent donc que les circuits neuronaux contrôlant le comportement moteur des individus sont en partie les mêmes que ceux servant à cartographier l'espace autour d'eux ainsi que les objets présents dans ce même espace (pour une revue, voir (Gallese, 2000, 2016; Rizzolatti et al., 2000).

Ainsi, le concept de simulation motrice reposerait sur notre capacité à réutiliser des circuits neuronaux dédiés à la motricité, et à rejouer les actions – et leurs conséquences – nous permettant d'interagir efficacement avec notre environnement (Jeannerod, 2001). Par exemple, Coello et Delevoye-Turrel (2007) proposent un modèle neurocognitif dans lequel la perception de l'espace est nécessairement contrainte par les représentations préréflexives du corps en action. Ces représentations préréflexives étant basées sur les expériences sensorimotrices passés du sujet dans son environnement, elles auraient pour fonction de fournir automatiquement au système perceptif un ensemble d'actions possibles. L'espace visuel et les objets le composant serait donc catégorisé en fonction de la simulation de ces actions possibles, et ce indépendamment de leur réalisation. Ainsi, l'aspect essentiel de ce modèle est que le rôle du processus de simulation n'est pas uniquement de préparer le système moteur aux conséquences motrices induites par la réalisation d'une action particulière, mais

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

également d'informer le système sur la faisabilité de cette action potentielle (Coello & Delevoeye-Turrell, 2007, p. 680-681).

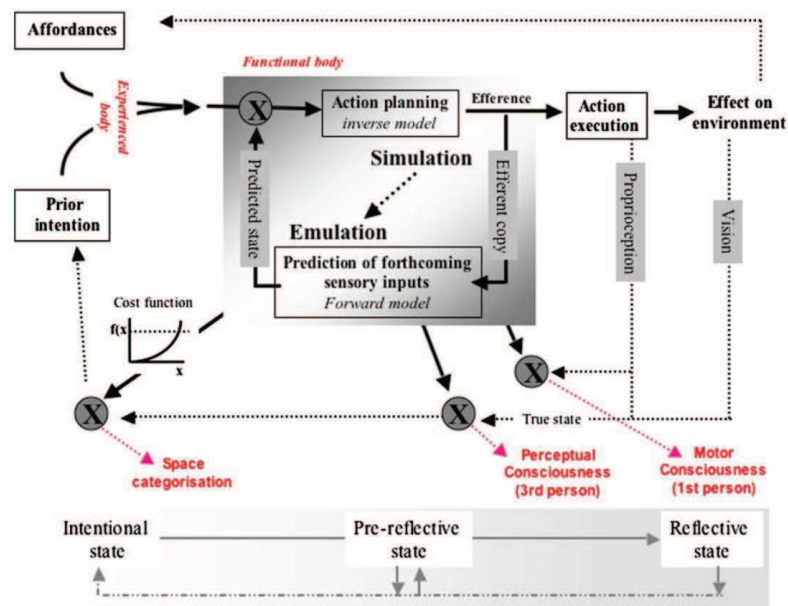


Fig. 6. Neuro-cognitive model of space categorisation and action consciousness based on the integration of afferent and efferent information within the sensori-motor system. After the specification of an intended goal for action (intentional state), the motor centres generate an appropriate outflow signal so as to perform the planned movement (inverse model). At the same time, as the motor commands are sent to the effectors, a copy of the command is sent to an internal predictive (forward) model. By generating an efferent copy of the motor commands, the motor system can simulate the motor act and therefore, predict and prepare the motor system to the sensory consequences of self-generated movements through an emulation process. Importantly, the function of the entire simulation process would be also to provide the self with information on the feasibility of action potentials (representation of the functional body).

**Figure 1.5** – Modèle neuro-cognitif proposé par Coello & Delevoeye-Turrell (2007)

Sur un plan psychologique et comportemental, le paradigme d'interférence motrice a été développé pour tester le concept de simulation motrice et déterminer le degré d'implication d'un tel processus dans la perception de l'espace et des distances. Ce paradigme repose sur l'idée que si des aires motrices sont recrutées lors d'une activité perceptive, le fait d'occuper ces mêmes aires motrices par une activité motrice concurrente durant un jugement perceptif devrait avoir un impact sur l'activité perceptive. Witt et Proffitt (2008) ont utilisé ce paradigme dans une tâche portant sur la perception de distances et le rôle de l'effort (étude 4). Ils ont demandé à des participants d'évaluer verbalement des distances représentées par des cibles, puis dans un second temps, de lancer un médecine-ball de 0,91 kg jusque ces cibles. Cependant, durant chaque évaluation, et donc avant chaque lancer, la moitié des participants devaient serrer une balle en caoutchouc avec la même main avec laquelle ils lançaient la balle. Cette manipulation expérimentale avait pour but d'atténuer les

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

effets liés à l'anticipation de l'effort de lancer sur l'évaluation des distances (Witt et al., 2004) en empêchant le système moteur de simuler les conséquences liées à l'action du lancer. Les résultats ont effectivement montré que les participants serrant la balle en caoutchouc au moment de l'évaluation ont perçu les distances comme étant plus courtes que ceux n'ayant pas serré la balle, suggérant que l'interférence entre la tâche concurrente et la capacité à simuler l'action envisagée ait éliminé l'effet lié à l'effort de lancer.

Dans une autre expérience, les auteurs ont également montré que le fait de s'imaginer utiliser un outil ou bien le fait d'anticiper l'utilisation de cet outil pour augmenter ses capacités d'atteinte entraînait une diminution des distances perçues (étude 1). Et cette diminution était similaire à celle observée lorsque les participants utilisaient réellement l'outil. Ces résultats étaient d'ailleurs cohérents avec de nombreux travaux montrant l'impact de l'utilisation d'un outil sur la perception de l'espace (Berti & Frassinetti, 2000; Bloesch, Davoli, Roth, Brockmole, & Abrams, 2012; Bourgeois et al., 2014; Brockmole, Davoli, Abrams, & Witt, 2013; Longo & Lourenco, 2007; Osieurak et al., 2012; Witt et al., 2005). Enfin, dans l'étude de Morgado et al. (2013), les participants devaient imaginer se saisir d'un cylindre situé derrière une barrière transparente avant d'évaluer la distance les séparant du cylindre. Les résultats ont montré que plus la barrière était large, et plus le cylindre était perçu loin. Évidemment, la barrière n'avait aucune incidence sur la distance euclidienne à laquelle se trouvait le cylindre. L'interprétation des auteurs était que la tâche d'imagerie réalisée avant chaque évaluation influençait les évaluations des participants, de sorte que plus l'action d'atteinte du cylindre était difficile, plus la distance était perçue comme grande. Cette difficulté était perçue via la tâche de simulation motrice.

L'ensemble de ces résultats semble donc indiquer que non seulement le processus de simulation motrice est impliqué dans l'activité perceptive, mais également que les simulations motrices seraient nécessaires à l'intégration des contraintes des actions dans l'expérience perceptive (Witt & Proffitt, 2008). De plus, les simulations motrices offriraient au système cognitif la possibilité de comparer les différentes options d'action s'offrant à lui afin notamment de maximiser ses ressources énergétiques. À noter que ces principes trouvent leur origine notamment dans l'élaboration de



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

modèles de planification motrice et du contrôle des actions dits modèles internes (Wolpert & Flanagan, 2001; Wolpert, Ghahramani, & Jordan, 1995; Wolpert & Kawato, 1998). Ces modèles, de formulation computationnelle, sont des modèles de prédictions sensorimotrices supposant l'existence de processus directs et de processus inverses (forward et inverse models en anglais) ayant pour fonction la planification motrice et l'anticipation des états futurs du système musculaire ainsi que des conséquences sensorimotrices (Bourgeois, 2012).

Cependant, si Witt et Proffitt affirment que la simulation motrice est un processus par lequel la perception met les capacités d'un individu en relation avec les affordances de l'environnement (Witt & Proffitt, 2008, p. 1490), Declerck (2013) affirme pour sa part que les simulations motrices ne peuvent pas expliquer la perception des affordances. Sans pour autant proposer d'alternatives, Declerck avance que les mécanismes fondamentaux de la simulation motrice présupposent la perception des affordances plutôt qu'ils en permettent la perception. Il défend l'idée que la simulation motrice ne peut pas supporter la simulation de l'ensemble des actions possible dans l'environnement. Si dans la plupart des expérimentations l'attention des participants est restreinte sur une seule tâche, la réalité écologique est tout autre, où une myriade d'actions s'offrent constamment à nous. Declerck s'appuie sur la notion d'attention périphérique nous permettant de rester conscient des objets nous entourant ainsi que des possibilités qu'ils nous offrent, sans pour autant porter notre attention directement sur eux. Ainsi, les simulations motrices seraient à l'œuvre uniquement sur les objets de notre attention, et l'ensemble des actions possibles, i.e., les affordances, seraient présentent à la conscience par un tout autre mécanisme.

De plus, Declerck souligne la confusion régulièrement commise consistant à confondre imagerie motrice et simulation mentale. Selon lui, dès lors qu'une action est imaginée consciemment, il convient de parler d'imagerie motrice, en ce sens où l'individu convoque volontairement une image mentale explicite. Hors, il se trouve que c'est le cas dans un certain nombre d'études portant sur le rôle des contraintes des actions sur la perception de distances ou d'ouvertures (Morgado, Muller, et al., 2013; Morgado, Gentaz, Guinet, Osiurak, & Palluel-Germain, 2013; Stefanucci & Geuss, 2009) où il est explicitement demandé aux participants de se représenter mentalement une action particulière. Également, ce type d'instruction se retrouve dans des études portant sur les correspondances temporelles entre l'exécution d'une action et son

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

imagination (Decety, 1993; Decety & Jeannerod, 1995; Flusberg & Boroditsky, 2011; Macramalla & Bridgeman, 2009). En revanche, la simulation motrice se référerait à un processus non-conscient utilisant des représentations dynamiques du corps en action, et impliquant un schéma corporel précis comprenant sa structure biomécanique, ses capacités, le coût énergétique des actions réalisées ainsi que des représentations fonctionnelles d'utilisation d'outils.

Cette définition est d'ailleurs cohérente avec d'autres résultats expérimentaux portant sur l'influence des contraintes des actions sur la perception de distances dans lesquelles seule l'intention implicite des participants est manipulée (Bhalla & Proffitt, 1999; King et al., 2017; Witt et al., 2008; Witt & Proffitt, 2005; Witt et al., 2004; Zadra et al., 2010). En effet, dans ces expériences, c'est l'enchaînement entre la tâche d'évaluation et l'exécution de l'action qui induit chez le participant une intention particulière. La nature de l'influence des contraintes des actions sur la perception serait d'ordre non-conscient et automatique dans la mesure où les participants ne se livrent pas à une tâche explicite d'imagerie mentale. L'idée selon laquelle la simulation motrice jouerait un rôle purement implicite dans la cognition motrice (Decety, 1996; Jeannerod & Frak, 1999; Parsons, 1994) semble donc en adéquation avec ces dernières études. Pour autant, imagerie mentale (ou motrice) et simulation motrice ne seraient en rien incompatible, dans la mesure où l'une n'excluant pas l'autre, et la convocation d'une image mentale impliquerait probablement de la simulation motrice (Grush, 2004).

En résumé, le concept de simulation motrice, de par sa capacité à renseigner le système cognitif sur les conséquences sensorimotrices engendrées par les actions anticipées, semble offrir des pistes pertinentes pour expliquer les effets des contraintes des actions sur la perception visuelle (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Gallese, 2016; Jeannerod, 2001; Jessica K. Witt & Proffitt, 2008a). Cependant, au-delà d'une hypothèse de réutilisation de circuits neuronaux similaires lors d'activités perceptives et motrices, des études supplémentaires semblent indispensables pour « déterminer de quelle manière la simulation motrice influence la perception visuelle de l'espace » (Morgado, 2014, p. 53). Notamment, nous pensons à la manière dont le phénomène d'anticipation des conséquences sensorimotrices pourrait être déclenché. S'il a été proposé que de tels mécanismes soient inconscients (Barsalou, 2008; Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Declerck, 2013; Gallese, 2016; Jeannerod, 2001; Pezzulo et



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

al., 2013), un rôle particulier semble dédié à l'intentionnalité et l'attention en ce qui concerne la perception de distances (Witt et al., 2004; Witt et al., 2005; Witt, Proffitt, et al., 2010) et de tailles (Cañal-Bruland & van der Kamp, 2009; Cañal-Bruland et al., 2011). Toutefois, les quelques éléments apportés par la littérature nous semblent insuffisants. En ce sens, nous allons nous intéresser dans la prochaine partie de cette thèse à l'approche idéomotrice de la cognition humaine (Camus, Hommel, Brunel, & Brouillet, 2017; Elsner & Hommel, 2001; Greenwald, 1970; Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001; James, 1890; Prinz, 1997), et aux théories du codage des événements sensorimoteurs (Camus et al., 2017; Hommel, 1998, 2009; Versace et al., 2014) et voir dans quelle mesure elles pourraient fournir des éléments de réponse concernant la perception des distances.

### **1.3.4. L'intégration sensorimotrice : une approche idéomotrice**

Dans sa formulation moderne, l'un des objectifs de l'approche idéomotrice de la cognition est de comprendre le caractère unifié des dimensions sensorielles et motrices de nos interactions avec l'environnement (Badets, Koch, & Philipp, 2016; Badets & Rensonnet, 2015; Elsner & Hommel, 2001; Shin, Proctor, & Capaldi, 2010; Stock & Stock, 2004). Par exemple, comment des stimulations provenant de nombreuses sources sensorielles peuvent-elles donner lieu à une expérience consciente unifiée ? Pour répondre à une telle question, le processus d'intégration sensorimotrice a été avancé (Hommel et al., 2001; Versace et al., 2014), suggérant l'existence d'un mécanisme de liage qui permettrait aux différentes unités sensorielles et motrices d'un événement d'exister à la conscience sous la forme d'une image mentale unique (Hommel et al., 2001).

Cependant, ce que semble montrer les recherches dans ce domaine est que cet effet de liage – ou simplement d'intégration – opèrerait également sur la structure temporelle des événements sensorimoteurs, c'est-à-dire sur l'enchaînement des différents composants d'un événement tels que le stimulus, la réponse et son effet. Notamment, il a été montré que les temps de réponse lors d'une tâche de catégorisation sur la nature d'un stimulus (naturel vs artificiel) variaient en fonction de la compatibilité entre le type de réponse à fournir et le type d'action que le stimulus évoquait (Camus et al., 2017; Tucker & Ellis, 1998, 2001). En condition

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

compatible, les temps de réponse sont plus rapides qu'en condition incompatible. Ces résultats laissent penser que la simple perception d'un stimulus pré-activerait des patterns moteurs spécifiques impliqués dans une potentielle interaction avec ce même stimulus. C'est-à-dire que la perception d'une poêle, dont le manche serait orienté à droite, pré-activerait des patterns moteurs liés à l'utilisation de la main droite ou du bras droit. Selon les auteurs, ce principe reposerait sur la capacité du système à reconnaître les propriétés physiques du stimulus (Tucker & Ellis, 1998).

Toutefois, une explication alternative propose l'idée selon laquelle le stimulus (e.g., la poêle orientée à droite) et la réponse lui étant associée (e.g., un geste de saisie avec la main droite) partageraient un code commun (Prinz, 1997), ou feraient partie intégrante d'un même événement sensorimoteur (Hommel et al., 2001) liant ainsi en une même structure mnésique, ou en une même représentation mentale, un événement étendu dans le temps.

Plus particulièrement, cette idée s'appuie sur une idée originale de William James (1890 ; voir aussi Harleß, 1861; Lotze, 1852), pour des suggestions théoriques similaires) et sur une formalisation expérimentale plus moderne de Greenwald (1970) selon laquelle une image anticipatoire des conséquences perceptives d'une action participerait à la sélection et l'initiation de cette même action. Dans un paradigme expérimental où l'effet perceptif produit par une réponse motrice était utilisé comme un nouveau stimulus, Greenwald (1970) et ses successeurs (Camus et al., 2017; Elsner & Hommel, 2001; Kunde, 2001) ont testé cette idée et se sont intéressés non plus à la relation Stimulus-Réponse, comme avaient pu le faire Tucker et Ellis (1998, 2001), mais à la relation Réponse-Effet.

En effet, dans l'étude de Elsner et Hommel (2001), le but était de créer, dans un premier temps, des associations entre une réponse motrice et un effet perceptif, et tester l'hypothèse selon laquelle l'effet perceptif agirait potentiellement, dans un second temps, comme une amorce potentielle de l'action précédemment effectuée. Plus précisément, les associations concernaient une action latéralisée que les participants fournissaient aléatoirement (i.e., presser un bouton à droite ou à gauche) et un son (i.e., aigu pour une action à droite et grave pour une action à gauche). Dans un second temps, les sons étaient présentés aux participants, qui devaient les catégoriser en utilisant une action soit compatible avec les associations précédemment apprises (i.e., appuyer sur le bouton droit pour le son aigu et sur le gauche pour le son

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

gave) soit incompatible (i.e., appuyer sur le bouton gauche pour le son aigu et sur le droit pour le son gave). Malgré l'absence de relation entre les deux phases, les résultats montraient que les participants étaient plus rapides en condition compatible qu'en condition incompatible.

Couplés aux travaux de Kunde (2001) dans lesquels l'anticipation des conséquences des actions est manipulée non pas de manière exogène (i.e., via la présentation d'un stimulus) mais de manière endogène (i.e., via une simulation mentale), ces résultats suggèrent que la perception d'un stimulus activerait non pas un code moteur correspondant à la réponse associée au stimulus, mais qu'elle activerait un code correspondant aux effets perceptifs produit par la réponse motrice. En d'autres termes, ce qu'évoquerait la perception d'un stimulus ne serait pas tant les actions auxquelles il invite mais bien les conséquences sensorimotrices provoquées par de telles actions. Ainsi, l'idée d'une image anticipatoire des conséquences des actions comme cause du déclenchement de nos actions semble vérifiée, tout comme le principe idéomoteur postulant que les différents composants des trinômes Stimulus-Réponse-Effet seraient intégrées au sein d'un même événement sensorimoteur (Hommel et al., 2001).

Dans le domaine de la perception des distances, l'approche idéomotrice ainsi que les théories du codage des événements ou de l'intégration sensorimotrice ont été peu évoquées pour expliquer l'influence de différentes variables non visuelles<sup>5</sup>. Toutefois, Grade et ses collaborateurs (2015) ont récemment proposé d'expliquer leurs résultats issus d'un effet d'interférence motrice sur des jugements de distances égocentriques et d'atteignabilité par la théorie du codage des événements (Theory of event coding (TEC), Hommel, 2009). Alors que des participants manipulaient une balle en caoutchouc durant des tâches de jugement de distance et d'atteignabilité, les temps de réponses étaient plus longs que lorsqu'ils ne manipulaient aucun objet. Selon les auteurs, le fait d'agir sur un objet (i.e., la balle) avec l'intention d'en modifier la forme devrait générer l'image mentale d'un événement distal, ou un événement externe. Les jugements de distances et d'atteignabilité étant également traités comme

---

<sup>5</sup> Il convient de préciser que l'idée que les composants de différentes modalités soient intégrés entre eux pour former une représentation de l'espace unifiée n'est pas remise en question. Au contraire. Ici, nous soulignons le manque de références évidentes à ce type de processus comme sous-tendant la construction de nos connaissances spatiales.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

des événements distaux, les deux tâches auxquelles se livraient les participants pourraient avoir causé une compétition et donc une interférence en termes de traitement du codage des événements, menant à des temps de réponses plus longs. Cette interprétation reprend donc l'idée de l'existence d'un code commun partagé à la fois par la perception d'un stimulus, une action dans l'environnement dirigée vers ce dernier, ainsi que les effets d'une telle action. Cependant, cette interprétation reste hypothétique puisque les auteurs l'ont établie a posteriori et n'avait pas pour ambition de la tester directement.

Également, Campos, Butler et Bühlhoff (2012, 2014) se sont intéressés au rôle de l'intégration multisensorielle dans des tâches d'estimation de distances parcourues. Leur objectif était de déterminer comment des informations visuelles (i.e., le flux optique) et des informations corporelles (i.e., informations vestibulaires et proprioceptives) étaient intégrées simultanément lors de déplacements dans l'espace. Les participants étaient équipés d'un dispositif de réalité virtuelle (VR) et devaient parcourir en marchant (Campos et al., 2012, étude 1) ou sur un fauteuil roulant (étude 2) plusieurs distances (4, 6, 8 et 10 mètres). Grâce au système de réalité virtuelle, les expérimentateurs faisaient varier le flux optique de manière à ce qu'il soit cohérent (1.0x) ou incohérent (0.7x ou 1.4x) avec les distances parcourues. Également, chaque distance était parcourue uniquement avec un retour d'information visuelle (étude 2), ou uniquement avec un retour d'information corporelle (étude 1). Pour réaliser leurs évaluations, les participants se retournaient à 180° après avoir parcouru la distance, et ajustaient à l'aide d'une télécommande la position d'une cible représentant la distance parcourue.

Le résultat principal de cette étude est que les informations visuelles et corporelles contribuaient toutes deux aux évaluations des distances, avec, cependant, une influence générale supérieure des informations corporelles durant la marche, et une influence générale supérieure des informations visuelles durant les déplacements passifs (i.e., en fauteuil roulant). Dans l'étude de 2014, les auteurs confirmaient ce résultat en montrant que le poids des informations proprioceptives dans l'évaluation était plus grand dès lors que les informations visuelles délivrées par le casque de VR variaient systématiquement. Ainsi, bien que les résultats semblent indiquer clairement qu'un type d'information prédomine sur un autre selon les conditions de déplacement, ces études n'abordent pas directement la question de l'intégration des différents

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

composants d'un événement au sein d'une même et unique représentation mentale. Également, la question de la temporalité dans ces études (plusieurs secondes) n'est pas comparable à celle utilisée dans les études portant sur l'approche idéomotrice (de l'ordre de la seconde). En effet, comme l'ont montré Zmigrod et Hommel (2011), bien qu'une asynchronie relative – de l'ordre de 100 à 200 ms – entre les différentes composantes perceptives n'empêche pas l'observation d'effets d'intégration, la complexité d'évaluation du processus d'intégration sensorimotrice durant une fenêtre temporelle de plusieurs secondes semble être une entreprise extrêmement complexe.

### 1.3.5. Question de recherche n°2

En considérant le principe de l'approche idéomotrice de la cognition selon lequel les différents composants d'un événement sensorimoteur sont intégrés au sein d'une représentation unifiée, (Camus, Brouillet, & Brunel, 2016; Camus et al., 2017; Prinz, 1997; Versace et al., 2014; Zmigrod & Hommel, 2011), dans une seconde série d'expériences, nous avons cherché à mettre en évidence ce processus d'intégration sensorimotrice lors d'une tâche d'évaluation de distances, ainsi qu'à comprendre l'influence des modalités non visuelles dans ce même type de tâche. Notre seconde question de recherche était la suivante :

**Le processus d'intégration sensorimotrice est-il à même d'expliquer les variations perceptives liées à des variables non-visuelles lors d'un jugement de distance ?**

## 1.4. Le rôle de la fluence métacognitive dans la perception des distances

Le troisième axe de cette thèse sera consacré au concept de fluence métacognitive et à son implication dans la perception des distances. Notre propos sera de défendre l'idée selon laquelle la fluence métacognitive – en tant que signal renseignant le système sur la qualité de ses interactions avec son environnement ainsi que sur la perception que le système a de lui-même (i.e., la métacognition) – constitue un candidat potentiel pour expliquer les variations perceptives liées aux différents coûts

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

des contraintes des actions. Qu'il s'agisse d'une contrainte physiologique tel qu'un effort physique (Zadra et al., 2016) ou d'une contrainte environnementale tel qu'un obstacle (Morgado et al., 2013), le coût lié à la réalisation de l'action a pour conséquence une augmentation des distances perçues. Nous tenterons de comprendre en quoi ce coût pourrait être générateur ou non de fluence et entraîner des variations perceptives.

### 1.4.1. La fluence : un indice métacognitif

En 1991, Schwarz et ses collègues (Schwarz et al., 1991) publiaient un article dans lequel ils mettaient en évidence le rôle de la fluence dans des tâches de jugement de préférence. Leur objectif était de déterminer si les jugements que nous émettons au quotidien sur différents stimuli sont davantage le fruit d'une analyse de leur contenu, ou bien si la facilité avec laquelle nous traitons ces stimuli peut également expliquer une part de ces mêmes jugements. Cette étude faisait suite à celle de Tversky et Kahneman (1973) dans laquelle les chercheurs avaient notamment montré qu'après avoir été exposés à 19 visages de femmes célèbres et 20 visages d'hommes inconnus, des participants répondaient qu'ils avaient été exposés à plus de visages de femmes que d'hommes (le même résultat était observé avec 19 visages d'hommes célèbres et 20 visages de femmes inconnues). Les chercheurs expliquaient ce résultat par l'expérience phénoménologique de facilité ou de difficulté avec laquelle les visages célèbres ou inconnus leur revenaient à l'esprit. Cependant, comme l'ont noté Schwarz et ses collègues (1991), cette méthodologie rendait impossible une telle conclusion dans la mesure où les participants rappelaient à peu près 50% de visages célèbres en plus par rapport aux visages inconnus. Ainsi, les réponses des participants auraient très bien pu se baser sur le nombre de visages rappelés.

Pour départager ces deux interprétations, Schwarz et ses collègues (1991) ont réalisé l'expérience suivante. Ils ont demandé à un premier groupe de participants d'énumérer 6 événements traduisant un comportement de confiance en soi (assertive behavior en anglais) – ce qui avait été évalué comme une tâche facile lors d'un pré-test – et à un second groupe d'énumérer 12 événements similaires – ce qui avait été évalué comme une tâche difficile. Par la suite, les participants devaient estimer leur

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

propre niveau de confiance en soi à l'aide d'un questionnaire. La même manipulation était réalisée pour des événements traduisant un manque de confiance en soi (unassertive behavior). Pour les comportements de confiance, les résultats montraient que le niveau de confiance en soi des participants était supérieur après avoir rappelé 6 événements plutôt que 12. A l'inverse, pour les comportements traduisant un manque de confiance, les participants ont reporté être plus confiants après avoir rappelé 12 événements plutôt que 6. Ainsi, l'état de confiance de participants était cohérent avec le contenu des événements rappelés uniquement lorsque la tâche de rappel était facile. Lorsque la tâche de rappel était difficile, l'autoévaluation des participants était inverse au contenu des événements rappelés. Ces résultats montraient donc que l'influence du contenu des événements rappelés était déterminée par la facilité avec laquelle les participants produisaient ces contenus.

Ce que nous nommons fluence est précisément cette connaissance que les individus ont de la difficulté ou de la facilité avec laquelle ils interagissent avec leur environnement, ils traitent de l'information, ou dans le cas présent, ils génèrent de l'information. Dans les expériences décrites ci-dessus, les chercheurs ont montré que l'influence du contenu généré par les participants interagissait avec ce sentiment de fluence lors d'un jugement ultérieur. Mais surtout, cela montre que la fluence est automatiquement traitée, et qu'elle constitue une source supplémentaire d'information qui influence les jugements (Schwarz et al., 1991). Partant de ce constat, Schwarz (2004) avance l'idée que n'importe quelle variable qui augmenterait le niveau de fluence devrait avoir les mêmes effets sur des jugements. Conformément à cette hypothèse, des chercheurs ont manipulé le niveau de fluence de différentes manières en utilisant entre autre des amorces sémantiques (e.g., Begg, Anas, & Farinacci, 1992), la clarté visuelle de stimuli (e.g., Reber & Schwarz, 1999), ainsi que des amorces phonologiques (e.g., McGlone & Tofiqbakhsh, 2000). Ainsi, étaient respectivement manipulées la fluence sémantique, la fluence perceptive et la fluence linguistique, avec dans chaque cas, des effets similaires : les participants évaluaient les stimuli fluents plus vrais (more true, en anglais) ou plus précis que des stimuli similaires mais moins fluents.

Ce type de résultats était reproduit dans des expériences portant sur des jugements de préférence (Reber, Winkielman, & Schwarz, 1998; Stepper & Strack, 1993; Winkielman & Cacioppo, 2001), des jugements de confiance (Adam L. Alter,



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Oppenheimer, Epley, & Eyre, 2007; Schwartz & Metcalfe, 1992), des jugements de familiarité (Tversky & Kahneman, 1973; Whittlesea, 1993; Whittlesea & Williams, 1998), ou encore des jugements d'intelligence (Oppenheimer, 2006 ; pour une revue voir aussi Alter & Oppenheimer, 2009). Ces résultats confortaient donc l'hypothèse de Schwarz (2004) et montraient que la fluence a un impact similaire sur les jugements, indépendamment de la manière avec laquelle elle est générée (Alter & Oppenheimer, 2009). Dès lors, puisque toute forme de cognition s'inscrit dans un continuum allant d'une absence d'effort cognitif à un coût cognitif élevé, tout en générant une expérience de fluence correspondante, Alter et Oppenheimer (2009) définissent la fluence comme un indice métacognitif ambiant<sup>6</sup>.

### 1.4.2. De la fluence à la fluence relative

Nos jugements s'expliqueraient donc à la fois par le contenu des informations à juger ainsi que par l'expérience subjective de facilité ou de difficulté avec laquelle nous traitons ces mêmes informations, i.e., la fluence (Alter & Oppenheimer, 2009; Schwarz, 2004). Cependant, si le niveau de fluence a un impact déterminant sur les jugements des individus, il semblerait que ce ne soit pas tant le niveau de fluence absolue qui en soit responsable, mais bien les variations de ce niveau ainsi que les déviations par rapport à un niveau attendu (Wänke & Hansen, 2015). En effet, si l'on considère la fluence comme un indice métacognitif renseignant le système sur la qualité de ses interactions avec son environnement, la sensibilité aux variations de cet indice semble indispensable d'un point de vue adaptatif – aussi bien pour des raisons de détection d'indices que de pertinence de ces mêmes indices (pour une meilleure explication, voir Wänke & Hansen, 2015).

L'un des premiers arguments expérimentaux en faveur d'une plus grande importance de la variation de fluence plutôt que de la fluence absolue a été fourni par Whittlesea et Williams (1998). Dans leur expérience, des participants devaient lire à haute voix une liste de mots (e.g., bottle, en anglais) et de non-mots (e.g., tlamnic), puis ils devaient indiquer si ces items appartenaient à une précédente liste. Le point de

---

<sup>6</sup> En anglais, les auteurs parlent de ubiquitous metacognitive cue. Nous avons traduit ubiquitous par ambiant pour garder cette idée d'omniprésence tout en y ajoutant une idée d'ambiance qui imprégnerait en continue le système cognitif.



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

départ de cette expérience était que la fluence perceptive des mots est plus importante que celle des non-mots. Cependant, certains non-mots perceptivement non-fluents (disfluent, en anglais) étaient, de manière surprenante, facile à prononcer et, lorsqu'ils étaient lus à haute voix, ressemblaient phonologiquement à de véritables mots (e.g., phrawg, qui, en anglais, se prononcerait comme frog). Bien que les temps de réponse indiquaient que de tels pseudohomophones étaient traités moins rapidement que de véritables mots, indiquant un niveau de fluence absolue moins élevée, ils étaient plus susceptibles de générer de fausses reconnaissances que les véritables mots. Ainsi, le haut niveau de familiarité des participants vis-à-vis des items ne s'expliquait pas uniquement par le haut niveau de fluence que leur lecture générerait, mais également par le fait que leur niveau de fluence était plus élevé que celui attendu. Dans cette expérience, le sentiment de familiarité des participants émergeait donc de manière plus importante lorsque les stimuli étaient traités plus facilement que ce à quoi les participants pouvaient s'attendre.

Ces résultats étaient donc les premiers d'une série d'autres résultats (Whittlesea & Williams, 2000, 2001a, 2001b) servant d'arguments expérimentaux au modèle de mémoire – le modèle SCAPE (pour Selective Construction and Preservation of Experience) – proposé par Whittlesea (1997), et selon lequel la mémoire contrôlerait toute forme d'interaction avec l'environnement ainsi que la cohérence de ces propres performances. Selon ce modèle, lorsque la mémoire, par le biais d'un autocontrôle, détecte un problème de cohérence, un signal d'alerte est émis. Ce signal peut alors être attribué selon le contexte soit au stimulus, à la situation ou à l'individu – générant par exemple des sentiments de désir, de danger imminent, ou d'humeur inhabituelle – soit à une source dans le passé. Cette attribution à une source du passé aura pour conséquence de produire un sentiment de familiarité, comme celui observé dans l'étude que nous venons de citer impliquant des non-mots ressemblant phonétiquement à de véritables mots.

Ainsi, comme nous l'explique Whittlesea (2002), le sentiment de familiarité ne serait pas le produit direct des expériences passées du sujet avec un stimulus, mais bien le résultat de processus d'inférence et d'attribution inconscients. Cette idée d'attribution – centrale dans le modèle SCAPE – est directement énoncée dans la Discrepancy-Attribution Hypothesis (Whittlesea & Williams, 2000, 1998), dont le but est d'expliquer spécifiquement la source des sentiments de familiarité. En reprenant

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

de précédentes propositions selon lesquelles le sentiment de familiarité des individus est influencé par les variations de fluence des différents traitements qu'ils opèrent (e.g., Jacoby & Whitehouse, 1989; Rajaram, 1993; Roediger & McDermott, 1995), les auteurs proposent que les individus ont cette capacité de détecter l'écart (discrepancy, en anglais) entre leur performance et celle qu'ils seraient en droit d'attendre d'eux-mêmes sur pareil stimulus et en pareilles circonstances. Cet écart perçu serait alors inconsciemment attribué à une expérience passée avec le stimulus, et cette attribution serait consciemment perçue comme un sentiment de familiarité. Ainsi, avec le modèle SCAPE et son corolaire qu'est la Discrepancy-Attribution Hypothesis, Whittlesea rend compte de l'existence de faux souvenirs consistant à reconnaître des stimuli nouveaux comme anciens par une illusion de familiarité, elle-même causée par un processus d'attribution inconsciente.

Similaire à celle de Whittlesea (2002), la proposition de Westerman (2008) reprend l'idée de discrepancy pour expliquer l'existence de faux souvenirs. Cependant, sa proposition se concentre sur l'indicateur qui permettrait au système cognitif de constater cet effet de discrepancy. Cet indicateur, qu'il nomme benchmark – que l'on pourrait également traduire par point de référence ou niveau standard – serait en fait le contexte dans lequel un stimulus serait perçu et traité. Selon lui, si l'un des marqueurs de fluence perceptuelle est le sentiment qu'un stimulus familier se détache des autres stimuli, alors faire varier la quantité d'essais fluents au cours d'une même expérience devrait entraîner une relation négative entre le pourcentage d'essais fluents et les effets classiques de fluence sur des tâches de rappel. Dans une tâche classique de reconnaissance, les mots présentés étaient soit précédés d'une amorce<sup>7</sup> soit d'un simple masquage (étude 1). La fluence absolue des mots variait donc en fonction de la présence ou de l'absence de l'amorce : lorsque l'amorce était présente, la fluence absolue du mot était supérieure, et la probabilité qu'il soit jugé ancien était également supérieure. Cependant, les chercheurs faisaient également varier le pourcentage de mots précédés d'une amorce. Ce pourcentage était de 10%, 33% 67% ou 90%. L'hypothèse des chercheurs était que plus ce pourcentage était élevé, plus

---

<sup>7</sup> Chaque mot test était précédé d'une brève présentation (34 msec) d'un mot masqué. Le masque était une ligne de chiffres qui était présentée pendant 250 msec avant et après le mot test. Soit le mot masqué correspondait au mot test, soit il n'avait aucun rapport. Les participants étaient informés que les chiffres indiquaient le début de l'essai suivant. Aucune mention n'était faite concernant le mot masqué.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

l'effet de la fluence absolue sur le sentiment de familiarité diminuerait. Inversement, plus ce pourcentage était faible, et plus l'effet de la fluence absolue serait important, rendant compte d'un effet de contexte, où un stimulus fluent isolé au milieu de stimuli non-fluents aurait un effet sur le sentiment de familiarité plus important qu'un stimulus fluent au milieu d'autres stimuli fluents.

Les résultats confirmaient l'hypothèse des chercheurs. Premièrement, et conformément à la littérature (Jacoby & Whitehouse, 1989; Westerman, Lloyd, & Miller, 2002), les mots précédés d'une amorce entraînaient plus de fausses reconnaissances que ceux sans amorce. Et deuxièmement, le taux de fausses reconnaissances était significativement plus important lorsque seuls 10% des mots étaient précédés d'une amorce plutôt que 33%, 67% ou 90%. Cette étude montrait donc que le degré d'impact de la fluence absolue d'un stimulus sur la reconnaissance dépend de la fluence des autres stimuli présents dans le même contexte. Ainsi, couplés aux travaux de Whittlesea et ses collègues, ces résultats soulignent la flexibilité du processus d'attribution et mettent en évidence le caractère relatif de la fluence. Dès lors, il conviendrait de considérer la fluence non plus comme une source d'information pertinente en soi, mais bien comme un indicateur de variations du niveau d'expérience éprouvé par l'individu. Sans pour autant perdre de son niveau d'intensité absolue (Hansen & Wänke, 2008), et donc de son pouvoir d'influence, la fluence relative au contexte et aux attentes des individus semble la mieux placée pour expliquer les effets d'attribution inconsciente observés chez les participants.

### **1.4.3. De la cognition à la motricité**

Le sentiment de familiarité que nous ressentons à l'égard des objets du monde serait donc en partie induit par un processus d'attribution inconscient, lui-même causé par de la fluence relative (Wänke & Hansen, 2015; Westerman, 2008; Whittlesea, 2002; Whittlesea & Williams, 2000). Notons que jusqu'à présent notre propos s'est concentré sur la dimension essentiellement cognitive de l'activité humaine, négligeant par là même son versant moteur. L'objectif de cette partie est justement de combler ce manque en présentant notamment des travaux portant sur le rôle de la motricité dans l'émergence de la fluence et de son traitement, ainsi que sur les conséquences d'une telle émergence sur différentes tâches de jugement.

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Rappelons que le propos général de cette thèse est de soutenir une approche unifiée de la perception dans laquelle l'activité perceptive ne peut être considérée indépendamment de l'activité motrice. Cannon, Hayes et Tipper (2010) se sont justement posé la question du lien perception-action et de son rôle dans l'émergence de la fluence et de ses effets associés. En s'appuyant sur une importante littérature montrant que les systèmes visuels et moteurs sont hautement intégrés (e.g., Camus et al., 2017; Gallese, 2016; Hommel, 2009), les auteurs ont émis l'hypothèse que l'impact de la fluence sur des jugements émotionnels pouvait être attribué non pas à des processus perceptifs, comme cela était généralement le cas (Reber et al., 1998; Winkielman & Cacioppo, 2001; Winkielman, Halberstadt, Fazendeiro, & Catty, 2006), mais à des processus sensorimoteurs. Pour tester cette hypothèse, les auteurs ont fait varier la fluence en manipulant la compatibilité sensorimotrice lors de tâches de catégorisation. Leur objectif était de montrer que la fluence générée par des processus sensorimoteurs peut également influencer des jugements émotionnels. Pour cela les auteurs ont combiné des paradigmes expérimentaux de compatibilité Stimulus-Réponse (S-R compatibility, en anglais) tels que ceux utilisés par Simon et Small (1969, mise en évidence du Simon effect) ou par Tucker et Ellis (1998, manipulation des affordances des objets). Les participants devaient catégoriser des objets comme étant soit des outils de cuisine, soit des outils de garage. Pour répondre Cuisine ou Garage, les participants devaient soit appuyer avec leur main droite sur un bouton placé à droite, soit appuyer avec leur main gauche sur un bouton placé à gauche. En condition compatible, les objets étaient présentés et orientés (i.e., la partie préhensible de l'objet) du même côté de l'écran que le bouton de réponse ; en condition incompatible, les objets étaient présentés et orientés du côté opposé au bouton de réponse. Afin de mesurer les jugements émotionnels, les auteurs ont mesuré de manière implicite l'activité musculaire faciale des participants par électromyographie (EMG). Dans ce genre d'étude, l'activité des muscles zygomatiques des joues – intervenant lorsque l'on sourit – est associée à des émotions positives, alors que l'activité des muscles corrugator supercilii des sourcils – intervenant lorsqu'on fronce les sourcils – est associée à des émotions négatives.

Les résultats ont montré que les participants étaient plus rapides en condition compatible qu'en condition incompatible, mais surtout, que l'activité des

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

zygomatique était plus importante après des essais compatibles qu'après des essais incompatibles. Aucune différence n'était observée concernant les corrugator supercillii. D'après les auteurs, ces résultats suggèrent que les effets positifs sur les émotions, généralement observés lors d'une manipulation de la fluence perceptuelle, devraient davantage être considérés comme résultant de l'efficacité de processus sensorimoteurs. De plus, cette interprétation reste cohérente avec l'idée selon laquelle la fluence peut être intégrée et traitée par le système indépendamment de la manière avec laquelle elle est générée (Alter & Oppenheimer, 2009).

Cette étude ouvrira la voie à de nombreuses autres études mettant en jeu les compatibilités sensorimotrices et leur impact sur des jugements affectifs (Beilock & Holt, 2007; T. Brouillet, Ferrier, Grosselin, & Brouillet, 2011; Dru & Cretenet, 2008; Milhau, Brouillet, & Brouillet, 2013, 2015), sur des performances en mémoire (D. Brouillet, Vagnot, et al., 2015; D. Brouillet, Milhau, Brouillet, & Servajean, 2017; Yang, Gallo, & Beilock, 2009), ainsi que sur le sentiment de contrôle (Chambon, Sidarus, & Haggard, 2014; Chambon & Haggard, 2012; Sidarus, Chambon, & Haggard, 2013). Également, les travaux de Casasanto et ses collègues montreront que la latéralisation de nos actions comporterait une dimension émotionnelle, ou du moins auraient des conséquences sur nos jugements émotionnels (Casasanto, 2009; Casasanto & Chryssikou, 2011; Casasanto & Henetz, 2012; Casasanto & Jasmin, 2010; de la Fuente, Casasanto, & Santiago, 2015; Milhau et al., 2013, 2015). Lorsque nous agissons dans l'espace ipsilatéral (i.e., le même côté que celui du membre effecteur utilisé) la valence de nos jugements serait supérieure à lorsque nous agissons dans notre espace contralatéral (i.e., le côté opposé à celui de notre membre effecteur utilisé). Ce lien semble d'autant plus avéré qu'il fonctionne à l'envers, à savoir que la valence des mots activerait la simulation de fluence motrice et influencerait des jugements perceptifs (Milhau, Brouillet, Dru, Coello, & Brouillet, 2017). Plus précisément, après avoir été exposés à des mots positifs, lors d'une tâche de bissection de ligne, les réponses des participants déviaient du côté de leur main dominante, aussi bien chez les droitiers que chez les gauchers. Rappelons que l'intérêt de ces études réside dans le fait que les manipulations de compatibilité ou de latéralisation n'ont aucun lien avec le type de jugement que les participants doivent émettre.

Ce que ces études démontrent est que l'interaction entre l'organisation structurelle de l'environnement (e.g., l'orientation d'un objet) et l'organisation

## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

fonctionnelle du sujet (e.g., la main utilisée pour répondre) fait émerger une expérience phénoménologique dont la nature déteint sur des jugements ultérieurs. Dans la mesure où les effets de ces expériences phénoménologiques semblent être les mêmes que ceux observés lorsqu'on manipule la fluence perceptuelle, sémantique ou linguistique, c'est tout naturellement que les auteurs parleront également de fluence, et bien souvent de fluence motrice (Casasanto, 2009; Topolinski & Strack, 2009; Yang et al., 2009).

Afin de faire le lien avec la suite de notre propos, une autre étude nous semble importante à citer. Cette étude est celle de Hayes et ses collègues (Hayes, Paul, Beuger, & Tipper, 2008). Dans cette étude, les participants devaient évaluer sur une échelle de 1 à 9 à quel point des objets manipulables leur étaient agréables<sup>8</sup>. Avant chaque évaluation, les participants devaient déplacer les objets en question d'une position à une autre. De la droite vers la gauche avec la main droite, ou de la gauche vers la droite avec la main gauche. Cette action était soit libre soit contraignante. Plus précisément, dans un cas aucun autre objet n'entravait l'action de déplacement, dans l'autre cas, un vase d'eau à moitié rempli était positionné sur le trajet de déplacement. Ainsi les participants devaient contourner le vase qui agissait comme un obstacle, ou comme une contrainte. Dans un cas les auteurs parlent d'une action fluente et dans l'autre d'une action non-fluente. Les résultats ont montré que les objets étaient moins bien notés après une action non-fluente qu'après une action fluente. Ce résultat était reproduit lorsque les participants observaient l'action au lieu de la réaliser eux-mêmes (étude 2). L'aspect important de cette étude est que la fluence motrice est manipulée non pas grâce à de la compatibilité sensorimotrice, mais en contraignant l'action des participants. C'est donc l'adaptation à une contrainte environnementale qui générerait un sentiment de fluence qui, à nouveau, serait observable sur des jugements affectifs. Et à nouveau, la nature de l'interaction des individus avec leur environnement leur procurerait une information – qui pourrait être assimilé à un retour d'expérience – les renseignant sur la qualité même de cette interaction.

---

<sup>8</sup> L'évaluation se faisait de manière verbale après chaque essai. Chaque objet n'était pas évalué de manière générale, mais comparativement aux objets de la même catégorie. Par exemple, un pot de confiture devait être évalué en fonction des autres pots de confiture que les participants pouvaient rencontrer dans d'autres contextes. Par exemple, la note de 9 signifiait donc que les participants appréciaient l'objet autant qu'ils pouvaient l'apprécier par ailleurs.

### **1.4.4. Le rôle de la fluence dans la perception des contraintes des actions**

Arrivé à ce stade d'énonciation de ce que serait la fluence, de la manière dont elle serait générée et de l'impact qu'elle aurait sur nos jugements, la question de savoir si la fluence ne serait pas impliquée dans la perception des distances – ou dans un premier temps dans les jugements de distance – nous semble relativement légitime. Après tout, si la fluence impacte les jugements de familiarité, les jugements affectifs, les jugements de mémoire, ou encore les jugements de véracité, pourquoi ne pas penser que cela puisse également être le cas pour les jugements de distances.

Nous avons vu dans les parties précédentes que les contraintes des actions agissent de manière homogène sur la perception que nous avons de l'environnement. Plus les contraintes sont importantes, plus les distances perçues semblent s'agrandir (e.g., Morgado, Gentaz, et al., 2013; Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt, 2011). À ce jour, les raisons de ce phénomène restent hypothétiques. Toutefois, il semblerait que par un processus d'anticipation des effets des actions envisagées, et donc de la prise en compte des contraintes, le système perceptif soit en mesure d'intégrer les conséquences des actions futures sur l'organisme et de retranscrire ces mêmes conséquences dans l'expérience perceptive (Coello & Delevoeye-Turrell, 2007; Hommel, 2009; Witt & Proffitt, 2008). Également, nous venons de voir que la facilité avec laquelle nous interagissons avec notre environnement et les différents stimuli auxquels nous sommes soumis a un impact sur nos jugements. Par exemple, moins les tâches sont coûteuses d'un point de vue perceptif, sémantique, phonologique ou sensorimoteur, lors d'une expérience, et plus les participants produisent des jugements positifs en termes de familiarité, de préférence affective, ou de justesse intellectuelle. De manière analogue, plus les tâches sont coûteuses, et moins les stimuli sont jugés familiers, agréables ou exacts par les participants (pour une revue complète, voir Alter & Oppenheimer, 2009). Ainsi, si nous devons qualifier ce phénomène par une métaphore, nous pourrions presque parler d'une proximité mnésique à l'égard de certains stimuli, d'une proximité affective ou encore d'une proximité intellectuelle que les participants ressentiraient. Ce ressenti étant généré par un processus d'attribution inconscient, la proximité perçue par les participants serait la traduction



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

consciente de la facilité – ou la difficulté – avec laquelle ils interagissent avec l'environnement.

Un des autres points importants concernant la fluence sur lequel nous nous sommes arrêtés est que le niveau de fluence généré par nos interactions a un impact similaire sur nos jugements indépendamment de la manière avec laquelle il est généré. Cet aspect est essentiel puisque nous voyons qu'un sentiment de familiarité peut émerger à la suite d'une exposition répétée à un même stimulus (Bornstein & D'Agostino, 1994), lorsqu'une amorce est présentée avant un stimulus cible (Westerman, 2008), ou lorsque le contexte présente une compatibilité sensorimotrice (Cannon et al., 2010). Concernant la perception des distances, il semblerait qu'un phénomène similaire opère. En effet, les distances sont perçues plus grandes lorsque le coût énergétique des actions envisagées est important (Witt et al., 2004; Zadra et al., 2016), lorsque les cibles sont hors d'atteintes comparé à lorsqu'elles sont atteignables avec un outil (Osiurak et al., 2012; Witt et al., 2005), ou lorsque des obstacles contraignent les actions des individus (Morgado, et al., 2013). Ainsi, il semblerait que la facilité avec laquelle les actions sont envisagées – ou réalisées – impacte de manière homogène les perceptions que nous avons de notre environnement. Si l'hypothèse la plus probable pour expliquer les effets des contraintes des actions sur la perception est que le système simule les actions futures de manière à anticiper les effets des actions sur l'organisme, la question de savoir comment l'expérience perceptive intègre les effets de variables non visuelles reste entière.

Récemment, Alter et Oppenheimer (Alter & Oppenheimer, 2008) ont réalisé une étude sur l'effet de la fluence sur les distances psychologiques. Leur objectif était de montrer que l'idée que nous nous faisons de certaines distances abstraites, telles que la distance à laquelle nous nous trouvons de certaines grandes villes, est impactée par le sentiment de fluence. Ici les auteurs manipulaient la fluence perceptive grâce aux différentes polices utilisées dans leurs questionnaires. Les participants devaient indiquer sur un questionnaire à quelle distance ils se trouvaient de différentes villes états-uniennes. Le questionnaire était soit rédigé dans une police difficile à lire (12-point, italicized Haettenschweiler font: sample), soit rédigé dans une police facile à lire (12-point Times New Roman font: sample). Conformément à l'hypothèse des



## 1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

chercheurs, les participants en condition non-fluente rapportaient de plus grandes distances que les participants en condition lecture fluente (1331 miles vs 1251 miles). D'après les auteurs, les participants utilisaient la fluence perceptive comme un indicateur (as a proxy, en anglais) pour évaluer les distances (Alter & Oppenheimer, 2008). Ainsi, bien qu'abstraites puisque non mesurables par l'action directe, ces distances étaient influencées par le niveau de fluence dont les participants faisaient l'expérience au moment de la lecture du questionnaire. Lorsque le coût de la lecture était important, les distances rapportées étaient plus grandes que lorsque le coût de la lecture était faible, voire inexistant. Ce résultat semble donc indiquer qu'un lien puisse exister entre l'évaluation des distances et le niveau de fluence perçue à la suite d'une tâche plus ou moins coûteuse.

### **1.4.5. Question de recherche n°3 :**

En considérant le fait que la fluence est un signal traduisant l'intensité des coûts inhérents aux interactions sensorimotrices que les individus entretiennent avec leur environnement (Alter & Oppenheimer, 2009; D. Brouillet et al., 2017; Cannon et al., 2010; Milhau et al., 2017), et que le coût énergétique engendré par les contraintes des actions influence la perception des distances, nous nous sommes posés la question du rôle de la fluence métacognitive dans les variations perceptives observées lors des tâches de perception de distances. De plus, en considérant le rôle de la fluence relative dans les différents jugements auxquels sont soumis les individus, notre troisième question de recherche est la suivante :

**En quoi la fluence relative peut-elle avoir un impact sur les jugements de distance ?**



## **1.5. Rappel avant la partie expérimentale**

L'objectif de cette thèse était donc d'apporter des éléments en faveur d'une approche unifiée de la perception, mettant en avant la place du corps et ses modes d'interaction au monde. Nous avons terminé cette partie théorique en proposant l'idée que la fluence relative, en tant qu'indicateur fiable de la qualité des interactions entretenues par les individus avec leur environnement, pourrait constituer un des canaux informatifs pour l'organisme impliqué dans l'intégration des effets des contraintes des actions sur la perception des distances. Avant même d'entamer la partie expérimentale de ce travail, il convient de préciser que les arguments expérimentaux rapportés ici ne permettront pas de valider une telle hypothèse, tant par leur nombre trop restreint que par l'immensité d'une telle entreprise – si toutefois cette hypothèse ne recevait pas d'emblée des arguments rédhibitoires en sa défaveur. Cependant, les quelques éléments apportés permettront, nous l'espérons, de considérer cette proposition avec moins de doutes qu'au moment de débiter la lecture de ce document.

La partie suivante sera donc consacrée à la présentation des études se rapportant aux trois questions de recherche énoncées dans cette première partie. La première porte sur la perception de distances allocentriques et sur le rôle du point de référence utilisé. Nous verrons en quoi les contraintes liées à l'état du point de référence influencent les évaluations des participants. Dans la seconde étude nous aborderons le processus d'intégration sensorimotrice et tenterons de comprendre s'il constitue un candidat potentiel pour rendre compte des effets des contraintes des actions sur les évaluations des distances. Enfin, la troisième étude traitera donc de la possibilité de considérer la fluence comme une source d'information renseignant l'organisme sur le coût des actions dans lesquelles il est engagé.



## **2. PARTIE EXPÉRIMENTALE**



**2.1. L'influence de l'utilisation d'un outil comme point de référence dans la perception de distances allocentriques**

Cet article a été soumis à la revue Acta Psychologica

Josa, R., Servajean, P., & Brouillet, D.  
Effort for pushing: Influence of action constraints of a non-living reference frame on allocentric distance perception (Under Review)





### 2.1.1. Résumé de l'article 1

L'objectif de l'étude présentée dans ce premier chapitre était de déterminer si l'utilisation d'un outil en tant que point de référence pouvait influencer la perception de distances allocentriques. Pour cela nous avons utilisé un chariot de bibliothèque que nous avons rempli de livres dans une première condition, puis utilisé à vide dans une seconde condition. Plus spécifiquement, nous souhaitions savoir si l'action de déplacement suscitée par le chariot – et que nous avons induite chez les participants par une cover story – pouvait influencer les évaluations de distances que des participants devaient réaliser. Les distances à évaluer étaient représentées par l'espace entre le chariot et une cible (i.e., un cône de chantier orange) et variaient entre 4 et 8 mètres. Également, nous avons fait varier la position du chariot. Soit le chariot était proche des participants (3 ou 4 mètres), soit il était loin d'eux (6 ou 7 mètres). Notre hypothèse était que l'anticipation des effets de l'action liée au déplacement du chariot influencerait les évaluations des participants.

Plus particulièrement, nous nous attendions à ce que les participants dans le groupe Chariot Plein évaluent les distances plus grandes que les participants dans le groupe Chariot Vide. Ces prédictions se basaient sur les nombreux résultats expérimentaux ayant montré des liens importants entre perception des distances et coût des actions (Proffitt & Linkenauger, 2013b). Également, cette étude avait pour ambition d'étendre les résultats rapportés par Fini, Brass et Committeri (2015) montrant que la perception de distances allocentriques dans l'espace extrapersonnel était influençait par la présence d'autrui. Plus particulièrement, les auteurs ont montré qu'un individu libre de tout mouvement servant de point de référence lors d'une évaluation de distance allocentrique entraînait des évaluations de distances plus courtes que si un individu attaché, un pantin ou un objet était utilisé comme point de référence. Notre objectif était de montrer que l'utilisation d'un objet présentant des possibilités d'action pouvait également influencer la perception de distances allocentriques.

Conformément à notre hypothèse, les résultats de l'étude indiquent que les participants du groupe Chariot Plein évaluent les distances plus grandes que ceux du groupe Chariot Vide. Cependant cette différence ne se retrouve que lorsque le chariot

## 2. PARTIE EXPÉRIMENTALE – ARTICLE 1

est proche des participants. Ces résultats indiquent deux choses : la première est que les contraintes des actions générées par l'anticipation de l'utilisation d'un outil à la fois comme objet d'interaction et comme point de référence entraîne des évaluations de distances différentes. La seconde est que cet effet semble s'atténuer dans l'espace. Plus l'objet d'interaction est loin, moins les contraintes liées à son utilisation sont perceptibles sur les jugements de distances. Nous discutons ces résultats selon l'approche de la perception spécifique à l'action (Witt, 2011).

### **2.1.2. Effort for pushing: Influence of action constraints of a non-living reference frame on allocentric distance perception**

#### **Abstract**

Action potentialities of a human allocentric reference frame are known to influence distance perception. In this study, we aimed to test the role of action constraints of a non-living reference frame with motion potentialities on allocentric distance estimations. In an ecological and straightforward experiment, participants had to estimate distances between a library trolley and a target situated in front of them. The trolley was either empty or loaded with books. The results showed that the estimated distances were longer when the trolley was full of books rather than empty, and that this influence of the load interacted with the distance between the participant and the trolley. These data suggest that during allocentric judgments, a reference frame with motion potentialities can constrain our perceptions depending on the type of action we plan to achieve. According to the theory of embodied visual perception, our results suggest that people perceive space in terms of constraints related to their potential actions.

**Keywords:** Reference frame; allocentric distances; action constraints; action potentialities; distance perception

## **Introduction**

According to various theoretical approaches, visual perception of space is influenced by action constraints (i.e., the phenotypic account, Proffitt & Linkenauger, 2013; the action-specific account, Witt & Riley, 2014; and the evolved navigation theory Jackson & Willey, 2011). Sparrow and Newell (1998) refer to action constraints as every property of the organism (e.g., morphology, physiology, behaviour, see Proffitt & Linkenauger, 2013), the task (e.g., explicit rules, tool properties, biomechanical rules), and/or the environment (e.g., obstacles and topographical variations) that modifies the action potentialities of an organism. Despite some differences, all the Action Constraint Theories of perception (hereafter ACT) claim that visual perception of space is embodied (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Proffitt, 2013), that is to say that body-based information plays a role in perceptual processes (for a more detailed presentation of these theories, see Morgado & Palluel-Germain, 2015). However, this approach is not universally accepted, and alternative theories of spatial perception consider the influence of action constraints to be primarily effective at the response stage rather than at the perceptual stage (Firestone, 2013; Firestone & Scholl, 2016; Hutchison & Loomis, 2006; for a review, see Philbeck & Witt, 2015). Nevertheless, King, Tenhundfeld, and Witt (2017) have recently presented new empirical evidence, as well as strong theoretical arguments, which seem to challenge this alternative explanation. Moreover, King et al. (2017) reinforced the claim that the ability to act in the environment truly influences spatial perception (see also Philbeck & Witt, 2015).

### **Action influence on allocentric distance perception**

In the present study, we aim at investigating the effects of action constraints on distance perception, and, more particularly, on allocentric distances (i.e., the distance between two objects independently of the perceiver's location). As shown by numerous studies, bodily characteristics (i.e., morphology or physical constraints) and/or action performance bias the perception of allocentric extent. For instance, as the difficulty of passing through an aperture increases, the perception of the size of this aperture decreases (Stefanucci & Geuss, 2009); the estimations of how high off the ground a barrier is are influenced by the subject's ability to duck under the barrier (Stefanucci & Geuss, 2010); the capacity for kicking a ball through American football

uprights influences the estimations of the distance between the two posts of the uprights (Witt & Dorsch, 2009). Moreover, allocentric distance perception can be sensitive to social factors, for example, the relationship between the perceiver and a person can influence the perceiver's estimations of the size of an aperture between a wall and this person (Morgado, Muller, Pinelli, Guinet, Genteaz & Palluel-Germain, 2013).

More recently, Grade, Pesenti, and Edwards (2015) investigated the effects of action constraints on the perception of egocentric (i.e., distances taking the body as reference frame) and allocentric distances. They asked participants to estimate allocentric and egocentric distances while performing an independent motor interference task (i.e., squeezing a ball). Results showed that this motor interference influenced reaction times in egocentric but not allocentric estimations, suggesting that allocentric distance perception does not involve motor components. Although this result seems to be contradictory with previous studies, it is, indeed, quite coherent. As mentioned by the authors and suggested by the results, egocentric distance perception may be dependent on the simulation of reach capability. Furthermore, they conclude that visually based judgment of reachability may recruit internal motor representations rather than just causing a subsequent activation of these representations. In contrast to egocentric distances, allocentric length estimations do not take the body as the reference frame, and consequently do not rely on motor simulation processes. Thus, allocentric distance perception would only be sensitive to action related factors if the distance to be judged engages a particular—simulated or realised—action (i.e., imagining oneself passing through an aperture, kicking a football between two posts), which is not the case in Grade and colleagues' (2015) study. However, this claim about allocentric distance perception remains merely speculative.

### **The role of the reference frame in allocentric distance perception**

In a study in which participants had to estimate allocentric distances within extrapersonal space, Fini, Brass, and Committeri (2015) found that, in a virtual reality simulation, participants judged the distance between an umbrella and an avatar shorter than between an umbrella and a dummy or a tied-avatar. Note that the ego-oriented bearing from the reference frame to the object was close to 180°, revealing that the distances were almost aligned with the participants' sagittal axis, which is similar to

egocentric distance estimation. This result suggests that using a virtual body (with movement capabilities) as a reference frame for space categorisation triggers a representation of the action potentialities offered by the environment. This study (Fini et al., 2015), therefore, sheds a new light not only on the influence of action related factors on allocentric distances, but also on the influence of the reference frame: the distances are judged shorter when the reference frame offers action potentialities than when it constraints them. This conclusion is in line with several studies suggesting that people tend to construct their spatial representations considering both their own and other's action potentialities. Indeed, it has been shown that people tend to automatically adopt other people's visual perspective when categorising space (Samson, Apperly, Braithwaite, Andrews, & Bodley Scott, 2010; Surtees & Apperly, 2012; Tversky & Hard, 2009), as well as being affected by others' action potentialities when judging and acting on objects (Costantini, Committeri, & Sinigaglia, 2011; Cardellicchio, Sinigaglia, & Costantini, 2013). Therefore, it is coherent that adopting other people's perspective also triggers relevant action potentialities. However, since these studies focus on the comparison between the influence of a (virtual) person and the influence of static objects, the question of whether this remapping of space holds true for a non-living reference frame remains an open question.

The objective of the present study is to address this gap of knowledge by manipulating the action constraints of a movable reference frame. More precisely, we hypothesised that, when people intend to move one object to another, they perceive the allocentric distance between these two objects differently according to the anticipated effort needed to move the object.

To test this hypothesis, we designed a straightforward experiment in which participants had to estimate several distances between a library trolley and a target aligned with their midsagittal axis. We used allocentric distances within the extrapersonal space. In one group, the trolley was light and empty, whereas, in the second group, the trolley was heavy and full of books. Due to the action constraints related to the trolley's weight, we expected participants to estimate the distance between the trolley and the target to be longer when the trolley was heavy than when it was light.

## Experiment

### Method

#### Participants

Forty students from the University Paul Valéry of Montpellier, France, (21 females and 19 males) participated ( $m_{\text{age}} = 23.5$ ,  $s_{\text{age}} = 3.06$ ). All participants had normal or corrected-to-normal vision as indicated by self-report. They were a priori naïve to the purpose of the experiment and they did not participate in prior distance-perception experiments. Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

#### Apparatus and procedure

The experiment took place in a 15-m-long and 2.5-m-wide corridor. The participants were randomly assigned to the light group or to the heavy group. In the light group, the trolley was empty and weighted 12 kg. In the heavy group, the trolley was filled with books and weighted nearly 170 kg (see Fig. 2.1).

The participants had to estimate allocentric distances between a trolley and a cone (i.e., T-C distances) aligned with their midsagittal axis in two conditions depending on the trolley's position relative to the participants. In the near position, the trolley could be at 3 or 4 m from the participants (i.e., P-T distances). For this condition, the T-C distances that the participants had to estimate could be equal to 5, 6, 7 or 8 m. In the far position, the P-T distance could be equal to 6 or 7 m. For this condition, the T-C distances that the participants had to estimate could be equal to 3, 4, 5 or 6.<sup>9</sup> The T-C distance and the trolley's position randomly varied within subject from one trial to another. The participants completed a total of 12 trials, including four practice trials<sup>10</sup> and eight test trials (one test trial\*four T-C distances\*two trolley's positions). At the beginning of each trial, the participants turned back while the experimenter placed the trolley and the cone at a selected distance by using small marks on the floor. These marks were small enough to be unnoticeable from the participant's position. The participants then turned back again to face the experimental apparatus and verbally

---

<sup>9</sup> We varied the distances so that participants could not memorize their estimates.

<sup>10</sup> For these practice trials, the trolley could be at 3, 4, 5 or 6 m from the participants, and the T-C distance could be equal to 4, 5, 7 or 8 m.

estimated the T-C distance in meters without a time limit. The participants had to stand at the same position throughout the experiment without leaning to one side.



**Figure 2.1** – Experimental apparatus from the participants’ perspective for the light group (A) and the heavy group (B). These pictures represent the near condition, with the trolley located 3 m from the participant and the cone (target) located 8 m away from the trolley

The participants had to estimate allocentric distances between a trolley and a cone (i.e., T-C distances) aligned with their midsagittal axis in two conditions depending on the trolley’s position relative to the participants. In the near position, the trolley could be at 3 or 4 m from the participants (i.e., P-T distances). For this condition, the T-C distances that the participants had to estimate could be equal to 5, 6, 7 or 8 m. In the far position, the P-T distance could be equal to 6 or 7 m. For this condition, the T-C distances that the participants had to estimate could be equal to 3, 4, 5 or 6.<sup>11</sup> The T-C distance and the trolley’s position randomly varied within subject from one trial to another. The participants completed a total of 12 trials, including four practice

<sup>11</sup> We varied the distances so that participants could not memorize their estimates.



trials<sup>12</sup> and eight test trials (one test trial\*four T-C distances\*two trolley's positions). At the beginning of each trial, the participants turned back while the experimenter placed the trolley and the cone at a selected distance by using small marks on the floor. These marks were small enough to be unnoticeable from the participant's position. The participants then turned back again to face the experimental apparatus and verbally estimated the T-C distance in meters without a time limit. The participants had to stand at the same position throughout the experiment without leaning to one side.

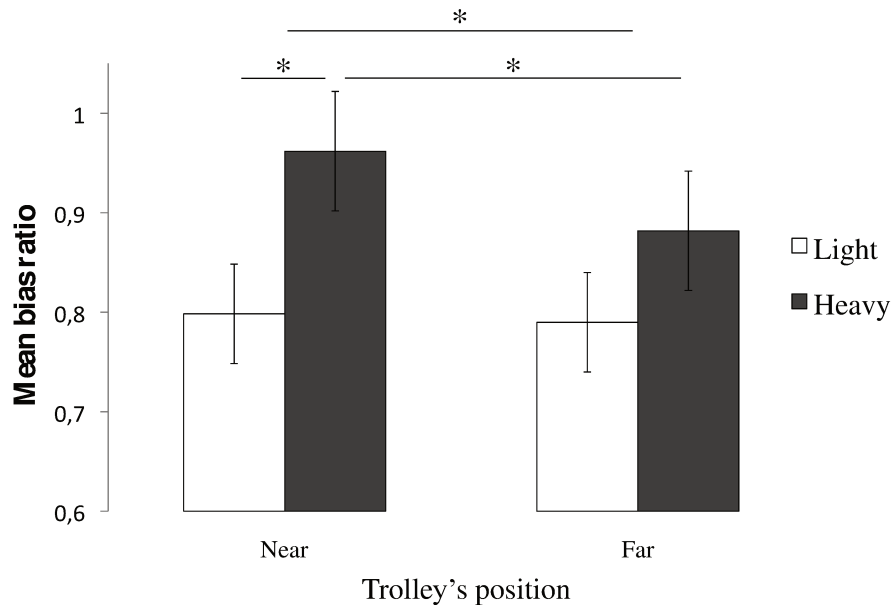
Before starting the experiment, the experimenter indicated to the participants that they would have to estimate all the T-C distances, to cover all the T-C distances while walking and pushing the trolley, and to estimate all the T-C distances again. We gave this instruction to lead participants to anticipate the effort needed to push the trolley (Witt, Proffitt, & Epstein, 2004). However, at the end of the test, the participants did not push the trolley and did not estimate the T-C distances again. Instead, the experimenter measured the height of the participants, debriefed and thanked them.

### **Results**

Given that distances for the near position and for the far position were different, we computed a bias ratio expressing estimated distances as a ratio of actual distances to compare near and far estimations to each other. A bias ratio equal to 1 means that the participants estimated the distance perfectly. A bias ratio above 1 or below 1 means that the participants overestimated or underestimated the distance, respectively. We also computed the difference between the mean bias ratios in near and far conditions. When this difference was superior or inferior to 3 standard deviations we excluded the data of that participant from the analysis. This criterion was chosen to eliminate extreme data from participants who showed inconsistencies between their estimations in near and far conditions. This led us to exclude one participant in each group.

---

<sup>12</sup> For these practice trials, the trolley could be at 3, 4, 5 or 6 m from the participants, and the T-C distance could be equal to 4, 5, 7 or 8 m.



**Figure 2.2** – Mean bias ratios as a function of trolley's position and weight. Error

We ran a 2 x 2 mixed-designed analysis of variance (ANOVA) with the trolley's weight as a between-subject independent variable and the trolley's position as a within-subject independent variable. The dependent variable was the mean bias ratio. Analyses revealed a significant interaction between weight and trolley's position,  $F(1,36) = 4.53$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .10$ . The Student tests used for comparisons showed that when the trolley was near, participants from light group estimated significantly shorter distances than participants from heavy group,  $t(36) = 2.05$ ,  $p < .05$ ,  $d = 0.68$ , ( $m_{\text{near/light}} = 0.80$ ,  $s_{\text{near/light}} = 0.21$ ;  $m_{\text{near/heavy}} = 0.96$ ,  $s_{\text{near/heavy}} = 0.27$ ). However, this difference was smaller and not statistically significant when the trolley was far,  $t(36) = 1.13$ ,  $p > .27$ ,  $d = 0.37$  ( $m_{\text{far/light}} = 0.79$ ,  $s_{\text{far/light}} = 0.23$ ;  $m_{\text{far/heavy}} = 0.88$ ,  $s_{\text{far/heavy}} = 0.27$ ). Concerning the within-subject comparisons, we found that the difference between the near and far conditions was significant for the heavy group,  $t(18) = 2.65$ ,  $p < .05$ ,  $d = 1.25$ , but not for the light group ( $p > .05$ ). As a consequence, and probably because of the lack of difference when the trolley was far, the main effect of trolley's weight did not reach statistical significance,  $F(1,36) = 2.62$ ,  $p > .05$ ,  $\eta^2 = .06$ . Despite the mean difference between the two groups ( $m_{\text{light}} = 0.79$ ,  $s_{\text{light}} = 0.22$ ;  $m_{\text{heavy}} = 0.92$ ,  $s_{\text{heavy}} = 0.27$ ), participants in the heavy group did not perceived distances significantly greater than participants in the light group. However, the main effect of

trolley's position was statistically significant,  $F(1, 36) = 6.90$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .15$ , and the correlation between our repeated measures in near and far conditions was Pearson's  $r = .91$ , 95% CI for Pearson's  $\rho$  [.83, .95]. Participants estimated distances longer when the trolley was near ( $m_{\text{near}} = 0.88$ ,  $s_{\text{near}} = 0.25$ ) than when it was far ( $m_{\text{far}} = 0.84$ ,  $s_{\text{far}} = 0.25$ ) from them (see Figure 2.2). Finally, no correlation was found between the estimations and the height of the participants ( $r = .06$ ).

## **Discussion**

In the present study, we addressed the role of action constraints on allocentric distance perception. More precisely, we aimed to investigate the perception of distances aligned in the depth plane of the participants when using a movable object as allocentric reference frame. Using a simple experimental design in which participants had to evaluate a distance between a trolley and a target, we found that the estimated distances were longer when the trolley was loaded with books rather than empty, with this result being moderated by the distance between the participant and the trolley.

One possible explanation for this interaction is that the anticipated effort required for pushing the trolley is likely to have influenced how participants perceived the distance between the trolley and the cone. This idea is indeed consistent with ACT, which claims that action constraints are integrated into visual perception of space (Morgado & Palluel-Germain, 2015; Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt & Riley, 2014; Zadra, Weltmann, & Proffitt, 2016). However, our analysis also revealed that the distance between the participants and the trolley moderated the impact of the trolley's weight on perceived distances, and this suggests a boundary condition of the effect of the reference frame—and its action constraints—on space perception. We will first discuss the rationale underlying the potential effect of a reference frame on distance perception, and then how such an effect is dependent upon the trolley's location.

### **The role of the reference frame characteristics**

Different studies have shown that people naturally adopt other people's perspective when judging space (Samson et al., 2010; Surtees & Apperly, 2012;

Tversky & Hard, 2009). This question is particularly interesting when it comes to space perception and the influence of social factors, such as the mere presence of an individual. As we see, people might take into account the movement potentialities of others to categorise extrapersonal space (Fini et al., 2015). Moreover, they seem to be sensitive to other individual's motor potentialities when they have to judge both the position and orientation of objects (Cardellicchio, Sinigaglia, & Costantini, 2013; Costantini, Committeri, & Sinigaglia, 2011). Moreover, these effects are null when a static object is placed close to the object to be judged, or when a virtual avatar is presented as tied-up is used as reference frame instead of a free avatar. Note that the biological motion of the avatar can also have an influence on the space categorisation (Fini, Bardi, Troje, Committeri, & Brass, 2017).

A possible explanation for adopting another person's perspective is a common mapping of one's own and other's motor potentialities (Samson et al., 2010; Surtees & Apperly, 2012; B. Tversky & Hard, 2009), suggesting a remapping of space representation depending on the action potentialities of others. However, the influence of a reference frame based on a movable object, rather than a human body, remains an open question. As mentioned by Fini and collaborators (2015), "In principle, the human body could influence our space perception as a 'tool' with motion opportunities and not necessarily because it is a human reference frame." (p. 55). By using a movable object as reference frame, we aimed to test the capacity to remap one's space representation depending on the action potentialities and constraints offered by the reference frame. According to our results, participants estimated different distances depending on the characteristics of the reference frame, i.e., the trolley's weight and position. Considering that these characteristics have a direct impact on the way we plan to interact with the object, we seem to integrate them as physical constraints in our own motor potentialities. Thus, as tool-use affects perceived distances (Witt, Proffitt, & Epstein, 2005), allocentric extents could be processed according to the action potentialities offered by the reference frame, which would contribute to "scale distances to the bioenergetic resources required to traverse the extents" (Zadra, Weltman, & Proffitt, 2016, p. 39). We propose that a reference frame with motion opportunities would lead to different allocentric distance perceptions depending on the physical effort needed to move it, its location from the viewer, and the type of intended action afforded by the reference frame.

The results of this experiment also revealed that the influence of the trolley's weight on participants' estimations was only observed when the trolley was close to the participants. The trolley's position component of this interaction could be explained in various ways. First, it would suggest that, in the far condition (the trolley being placed at 6 or 7 m away from the participants), the participants did not integrate the physical constraints of the reference frame in their distance estimations. As shown by various studies (Costantini, Ambrosini, Scorolli, & Borghi, 2011; Costantini, Ambrosini, Tieri, Sinigaglia, & Committeri, 2010), affordances are spatially constrained. This assumption implies that, depending on the reachability of an object (i.e., its location but also the presence of obstacles), perception of the object activates different neural processes, in particular certain motor processes (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996; Gallese, 2016). Nevertheless, the implication of motor processes in space categorisation is not limited to characteristics related to the reachability of an object (Galati et al., 2000). For instance, Fini, Brass, and Committeri (2015) showed that bodily-based information also affects allocentric judgments within extrapersonal space. Thus, depending on our geographical relation with an object, we would not recruit the same neural patterns when we plan to interact with it. As a consequence, although, in our study, the trolley was unreachable in both close and far conditions, we believe that the different trolley positions could have led to different perceptions, as we consider the action potentialities of objects differently depending on their locations. However, we are not able to exclude that the interaction effect is due to alternative explanations, and this first interpretation would benefit from further replications.

### **Alternative explanations**

For instance, according to another explanation, the interaction effect might originate from the fact that participants might have anticipated covering a longer average distance while pushing the trolley in the near condition than in the far condition. Indeed, due to different distances between near and far conditions, the participants anticipated pushing the trolley for 65% of the total average distance that they had to cover in the near condition and only for 41% of the total average distance that they had to cover in the far condition. Thus, pushing the trolley was more effortful in the near condition than in the far condition and this might also explain the observed interaction, as the main effect of the trolley's position.

A third explanation could be advanced to report on the interaction effect. This explanation would be to consider the possibility that purely visual differences, rather than action constraints, are the sources of the observed group differences. Particularly, the argument would be that the trolley full of books occluded more of the floor (i.e., the top of the trolley was higher in the visual field) than the empty trolley. Moreover the visibility of the ground plane and the angular declination of the target are both known to play a role in how objects are localised (Ooi, Wu, & He, 2001). However, since we did not observe any specific influence of the height of the participants on their estimations, which should be the case if the angular declination would have played a central role in this task, our results seem to rule out this interpretation.

Finally, one could argue that our results could be explained in terms of demand characteristics, as was claimed against some cases (Durgin et al., 2009). We agree that such claims are justified in this kind experiment, particularly with the use of indirect measures of perceived distance as verbal reports. Nevertheless, each participant experienced only one action constraint condition and was, thus, unable to somehow strategically adjust performance according to another condition, which they never experienced. Moreover, the absence of difference on perceived distances between the Light and the Heavy conditions when the trolley was far, rules out the interpretation in terms of demand characteristics.

### **Conclusions**

In conclusion, in this experiment, we observed that a heavy trolley used as reference frame led participants to estimate longer distances than a light trolley. This distinction was only observed when the trolley was located close to the participants (3 or 4 meters) and not when it was far from them (6 or 7 meters). What these data suggest is that, during allocentric judgments, a reference frame with motion potentialities can constrain our perceptions depending on the type of action we plan to achieve. Such results are in line with previous studies showing influences of action constraints on distance perception (King et al., 2017; Morgado, Gentaz, Guinet, Osiurak, & Palluel-Germain, 2013; Stefanucci & Geuss, 2009; Witt, 2011; Proffitt & Linkenauger, 2013), and suggest going further by considering an external and a non-living reference frame as a potential “tool” that could increase or decrease our action opportunities. Moreover, the moderation effect of the trolley’s position suggests that

## 2. PARTIE EXPÉRIMENTALE – ARTICLE 1

the integration of the potentialities offered by the reference frame is space dependent, although this interpretation remains speculative. These findings are consistent with an embodied view of perception (Proffitt, 2013) and contribute to emphasising the importance of body-based information into visual perception of space.





## **2.2. Intégration sensorimotrice et perception des distances**

Cet article est en cours de préparation  
Josa, R., Camus, T., & Brouillet, D.



### 2.2.1. Résumé de l'article 2

L'objectif de notre deuxième étude était de comprendre en quoi le processus d'intégration sensorimotrice pourrait être responsable de variations perceptives liées aux contraintes des actions. Plus spécifiquement, la question que nous avons posée était de savoir si l'évaluation d'une distance par un geste d'atteinte pouvait être influencée par la réactivation d'un événement sensorimoteur passé faisant référence à une autre distance. L'idée était d'emprunter des protocoles propres aux études sur l'intégration sensorimotrice et de mettre en évidence des effets d'intégration et d'activation lors d'une tâche d'évaluation de distance.

La première expérience était composée de deux phases. Une phase d'apprentissage et une phase test. Dans la phase d'apprentissage, qu'on l'on pourrait également qualifier de phase d'association, les participants étaient soumis à un son accompagné d'une distance projetée à l'aide d'un vidéoprojecteur. Leur tâche était d'indiquer par un geste d'atteinte la position d'un point représentant la distance. L'objectif était de créer chez les participants deux associations composées d'un son (aigu ou grave), d'une distance (i.e., proche ou loin), et d'un geste d'atteinte (i.e., de faible ou grande amplitude). Dans la phase test, les participants devaient évaluer de nouvelles distances (i.e., 12 au total) après avoir été amorcés par un des deux sons utilisés en phase d'apprentissage. Notre hypothèse était que si les différents éléments en phase d'apprentissage étaient intégrés au sein d'une même trace épisodique, alors l'utilisation des sons comme amorce devrait réactiver les autres modalités associées à ce son. Dès lors, nous espérions observer des effets d'interférence et/ou de facilitation sur les jugements de distance liés à la réactivation par le son d'une distance compatible (de part la position du point ainsi que l'amplitude du geste d'atteinte) ou incompatible.

Les résultats obtenus allaient dans le sens de notre hypothèse mais uniquement concernant les distances courtes de faible amplitude. Les participants évaluaient des distances courtes plus grandes après avoir été amorcés par un son précédemment associé à une distance longue qu'après avoir été amorcés par un son associé à une distance courte. Ce résultat se vérifiait sur les temps de réponse puisque les participants étaient moins rapides lorsque l'amorce était incompatible avec la distance

à évaluer (toujours uniquement sur les distances courtes). Toutefois, si notre manipulation expérimentale semblait avoir fonctionné pour les distances courtes, la question de savoir quelle modalité entre la dimension visuelle (i.e., la distance) ou la dimension motricité (i.e., l'amplitude du geste) du geste influençait les évaluations restait entière.

La seconde expérience avait donc pour but de répondre à cette question en écartant la dimension auditive et en ne gardant que les dimensions visuelle et motrice. Aussi le nouveau protocole manipulait la création de traces épisodiques d'un essai à l'autre. Ainsi, les deux variables manipulées au cours d'un même essai étaient la répétition ou l'alternance de la modalité visuelle (i.e., la distance projetée) et la répétition ou l'alternance de la modalité motrice (i.e., le geste d'atteinte). A nouveau les seules distances dont les évaluations étaient influencées par notre manipulation expérimentale étaient les distances courtes. Les participants évaluaient les distances courtes (par un geste moteur de faible amplitude) plus courtes lorsqu'ils devaient répéter un geste moteur de faible amplitude plutôt que lorsqu'ils alternaient entre un geste de grande amplitude et geste de faible amplitude. La répétition ou l'alternance de la modalité visuelle n'avait aucune incidence sur les évaluations. Ces résultats semblent donc indiquer une absence d'influence de la dimension visuelle réactivée sur les évaluations de distances. Nous discutons plus largement ces résultats en fin d'article, ainsi que de la possibilité que nos choix méthodologiques aient généré des effets de réponse.

### **2.2.2. Investigating the role of sensorimotor integration in reaching distance judgments**

#### **Abstract**

In the domain of visual perception, it has been shown that distance perception depends on people's interactions with their environment (Proffitt & Linkenauger, 2013). In this study, we wanted to know whether the perceptual variations observed in action-specific distance perception experiments rely on the integration and the reactivation of unified episodic memory traces. In two experiments, we asked participants to estimate distances using a reaching movement in a comparison task. In Experiment 1 participants learned associations between two visual distances (short and long) and two auditory stimuli. Each association required a specific reaching movement. In the test phase participants were primed by one of the two auditory stimuli before distance estimations. Results showed an interference effect of the prime on both distance estimations and reaction times only on short distances. Experiment 2 was carried out in order to discriminate which one of the visual or motor feature influence distance estimations. In accordance with previous studies (Campos, Butler, & Bühlhoff, 2012b), results showed a main effect of the motor feature only in short distances, suggesting a higher influence of the motor features compared to visual features. We discuss these results and the limits of our study in the last part of this article.

**Keywords:** Sensorimotor integration; distance perception; interference effect; features reactivation

## **Introduction**

In the domain of space perception, it has been shown that distance perception depends on people's capabilities (Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt, Linkenauger, & Wickens, 2016). More precisely, numerous studies have highlighted the role of action constraints in the perception of distances (Jackson & Cormack, 2007; Morgado, Gentaz, Guinet, Osiurak, & Palluel-Germain, 2013; Witt, Proffitt, & Epstein, 2004; Zadra et al., 2016), heights (Stefanucci & Geuss, 2010; Taylor, Witt, & Sugovic, 2011), apertures (Stefanucci & Geuss, 2009) and speed (Witt & Sugovic, 2010a). What these studies show is that the way our action potentialities are impaired or increased influences directly the way we perceive our surrounding environment. To explain such a relation between visual and non-visual variables, various theoretical proposals have been made (for a review, see Morgado & Palluel-Germain, 2015). Notably, it has been proposed that motor simulation play an important role in the influence of the action constraints on visual perception (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Witt & Proffitt, 2008). However, the aim of the study was to investigate the role of another process: the sensorimotor integration process (Hommel, 2009; Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001). More precisely, we wanted to know whether the perceptual variations observed in action-specific distance perception experiments rely on the integration and the reactivation of unified episodic memory traces.

Our reasoning is based on the idea that a process of sensorimotor integration is supporting our daily interactions with the environment. Such an idea constitutes the core of several recent models of cognition (Hommel, 2009; Versace et al., 2014). Basically, those models build on the idea that various sensorimotor units belonging to the same event can be integrated into a unified episodic memory trace (or Event-file, see Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001). In other words, it means that they share a common code, and that each sensorimotor unit can be reactivated by the mere exposition to one of the units they are bounded with. Also, such models allow reducing the original distinction between sensory and motor components of a situation (Camus, Brouillet & Brunel, 2016). When perceiving an object for instance, a single and unified sensorimotor event can emerge from the binding between the sensory properties of the object, the motor responses performed to interact with it, and the

sensory consequences such action might trigger. In particular, this integration phenomenon has been demonstrated between unisensory features (visual: Hommel, 1998; auditory: Zmigrod, Spapé, & Hommel, 2009) and multisensory features (Zmigrod & Hommel, 2011).

In the domain of space perception, it has been shown that when walking through space, both visual and body-based information are integrated and jointly specify the extent of a travelled distance. More precisely, Campos et al. (2012, 2014) asked participants to travel – by walk or in a wheelchair – various distances while wearing a head-mounted display in order to deliver a visual feedback of their movements. This visual feedback was either congruent or incongruent with the travelled distance. The results showed that body-based cues (proprioceptive and vestibular) were more influential when walking than visual cues (optic flow), which, in turn, were more influential during passive movements. These studies support the idea that sensorimotor integration combine and weight proprioceptive and visual information depending on their reliability to provide robust perception of the environment and body position. However, these studies do not test specifically whether the evaluations are influenced by the reactivation of a unified sensorimotor event. Indeed, in these studies participants used a control device to adjust a target until the self-to-target distance matched the distance they had just walked. Estimations were made in a stationary position. So, given that the integration combined information from the optical flow and body-based information during walking, neither of the optical or body-based information was intentionally reactivated by the experimental procedure. As a consequence, it seems difficult to us to conclude on the sensorimotor integration of both type of information, as specified by the Theory of Event Coding (TEC, Hommel, 2009).

Therefore, the aim of our study was to address this specific gap of knowledge: whether distance judgments can be biased by the reactivation of a specific unified sensorimotor event. To answer this question we built Experiment 1 on the short-term priming paradigm developed by Brunel, Labeye, Lesourd, & Versace, (2009) and Camus et al. (2016), which has been demonstrated to yield reliable integration effects for multimodal stimuli. It consists of a learning phase followed by a test phase. During the learning phase participants learned associations between two stimuli, i.e., a

distance and a pitched sound. Their task was to reach to the distance with a reaching movement. In the test phase participants had to estimate several distances by reaching after having being primed by one of the two audio stimuli. In Experiment 2, we used a Trial-by-trial experimental paradigm adapted from Zmigrod, Spapé and Hommel's (2009) article. This second experiment was performed in order to discriminate whether the visual or the motor feature of the pre-associated distance influences distance judgments in Experiment 1.

## **Experiment 1**

Experiment 1 was performed to determine whether a distance judgment can be biased by the reactivation of a precedent distance via a pre-associated sound. The task was adopted from Brunel's (2009) design. The stimuli in the learning phase were combinations of a short (45 cm) or a long distance (77 cm), which accounted for the visual features, and a pure tone of high or low pitch, which accounted for the auditory features. Participants learned two distinct distance-sound associations in a learning phase. In the test phase, participants had to estimate different distances ranging from 47 to 75 cm. Participants were primed with one of the two sounds before every distance evaluation. We hypothesized that the prime would reactivate the associated distance, and thus, that distance evaluation would be shorter after being primed by the sound previously associated to the short distance than after being primed to the sound associated to the long distance. Also, we expected different reaction times due to the compatibility or incompatibility between the prime (i.e., the auditory feature) and the distance to be judged. Reaction times should be greater in incompatible conditions because of an interference effect caused by the reactivation of visual features of distances in the learning phase and the visual feature of actual distance.

## **Method**

### **Participants**

Twenty-eight right-handed voluntary participants were recruited for this experiment (20 female;  $M = 21.36$ ,  $SD = 2.71$ , age range = 19–32). All of them were students at Paul Valéry University in Montpellier, France, and had normal or



corrected-to-normal vision. All the participants were right-handers and signed a consent form.

### **Apparatus and Procedure**

The apparatus consisted of a projector (Epson EB-U04 Tri-LCD) placed 120 cm above a table that was 140 cm long, 80 cm wide and 70 cm high. The response display was a 29.4 cm long wooden board in which we crafted 9 response buttons (a start button and 8 response buttons). Each button measured 2 cm of diameter and were separated by 1 cm intervals. Each button consisted of a nail knocked in the wooden board. The whole display was transformed into a response display thanks to a Makey Makey© apparatus.

The visual stimuli were fourteen white dots. They were projected along the participant's sagittal body-midline axis in a 40 cm long and 75 cm large horizontal area. This area was at 40 cm from the edge of the table. The dots measured 1 cm of diameter and were arranged into four distance categories. Dots/distances 1 to 4 were included in the close category, dots/distances 5 to 7 were included in the middle-1 category, dots/distances 8 to 10 were included in the middle-2 category, and the dots/distances 11 to 14 were included in the far category (see Fig. 2.1). The interval between each dot was 1 cm within the categories, and the interval between each category was 4 cm. Distances 1 and 14 only served in the learning phase. The closest dot was at 45 cm from the edge of the table, and the most distant dot was at 77 cm from the edge of the table.

The two auditory stimuli that we used in both phases of the experiment consisted of two white noises: a high-pitched sound of 1000 Hz and a low-pitched sound of 500 Hz. The auditory stimuli were designed using the website [www.wavetones.com](http://www.wavetones.com). They were presented in monophony using Philips SHL3050 headphones and their duration was 500 milliseconds. The experiment was conducted on a DELL computer (LATITUDE E5510) using OpenSesame software Version 3.1 to create and manage the experiment.

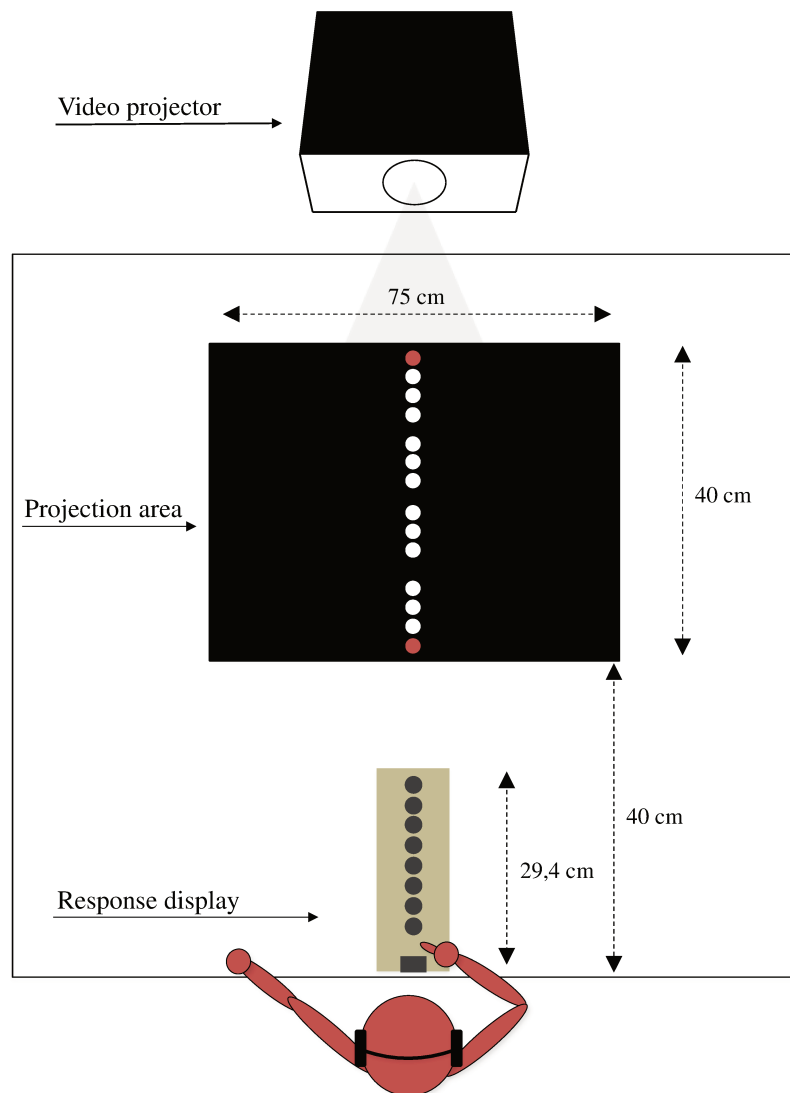
After filling a written consent form, each participant performed the experiment individually during a session that lasted approximately 20 min in total. The experiment consisted in two phases: a learning phase and a test phase.

## 2. PARTIE EXPÉRIMENTALE – ARTICLE 2

During the learning phase each trial consisted of the simultaneous presentation of a white dot with an auditory stimulus. In one case, the white dot was presented in the first position, i.e., 45 cm from the participant, and was accompanied by the low-pitched sound, and in the other case, the white dot was presented in the last position, i.e., 77 cm from the participant, and was accompanied by the high-pitched sound. This association was counterbalanced for half of the participants. Thus, in both arrangements, participants were exposed to two prime conditions: a Short Distance prime condition and a Long Distance prime condition. The presentation of the dot lasted 2000 ms whereas the duration of the pitch was 500 ms. Participants had to reach the corresponding response button when the white dot appeared (i.e., the first button in the Short Distance prime condition, and the last button in the Long Distance prime condition). If participants made an error or lasted too much, a red cross appeared in the center of the screen with duration of 500 ms and the same trial restarted. Participants completed 80 trials in a random presentation order. During the instructions, the participants were told that only extreme positions will be presented in the first phase, and that they will only use the extreme corresponding buttons. They were also told to be as fast as possible, and to keep their forefinger positioned on the start button between each trial. Both association between the auditory and the visual stimuli required a motor response.

The test phase consisted of a short-term priming paradigm. Participants were told to evaluate the position of the white dots with the response display. The prime (i.e., one of the two sounds) lasted 500 ms. The prime was immediately followed by a target dot that was one of the twelve remaining white dots (the extreme white dots used in the first phase were not presented in the second phase). Then the participants had to evaluate as quickly as possible the position of the white dot in a spatial comparison task by reaching one of the 8 response's buttons. The participants were told to consider the response display as a reproduction of the projected area. Thus, the closer the position of the dot in the projection area, the closer button they had to reach and press on the display, and vice versa.

The intertrial interval was 1,500 ms. Overall, each participant saw a total of 120 trials during the test phase, 60 in the Short Distance prime condition, and 60 in the Long Distance prime condition. Each distance was evaluated five times in each prime condition.



**Figure 2.3** – Schematic illustration of the experimental apparatus. A projector placed above the table displayed the stimuli at various positions. Each of the 14 dots' position is represented. They are regrouped in the 4 Distance Categories (Close, Middle-1, Middle-2 and Far). Red dots are only used in the learning phase. Participants responded with their forefinger on the different buttons in order to evaluate the various distances projected by the video projector. In the test phase, after being primed during 500 ms by a sound previously associated with one of the two red dots, participants evaluated the position of the white dot projected by reaching one of the 8 response buttons in a spatial comparison task.

## Results and Discussion

**Learning phase** – To ensure that the two different pitches were not naturally correlated with a notion of distance, we performed an analysis of variance (ANOVA)

on the reaction times (hereafter RTs), with subjects as random variable, prime type (low-pitched stimulus and high-pitched stimulus) as within-subject factor, and prime type association (Short Distance prime and Long Distance prime) as between-subject factor. We found no significant main effect of the prime type association,  $F(1, 24) = 0.472$ ,  $p = .499$ ,  $\eta_p^2 = .02$ , which means that reaction times revealed no pre-association between the pitches we used and the distances. We found a significant main effect of the Prime Type,  $F(1, 24) = 82.557$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .77$ , revealing, as expected, that participants responded faster on the first response button (i.e., the closest) than on the last one (i.e., the furthest). Finally, we did not find any interaction effect ( $F < 1$ ).

### **Test phase**

Data from unreliable trials (response display failure) and latencies below and above two standard deviations were excluded from the analyses. This led to the removal of two participants and an overall of 7.46% of the rest of the data (for a similar exclusion criteria, see Brunel, Labeye, Lesourd, & Versace, 2009 or Camus, Brouillet, & Brunel, 2016).

Also, RTs were transformed in order to take the difference of time between reaching the closest dot and reaching the furthest dot into account. We calculated the mean difference between RTs from Close sound condition and Far sound condition in the learning phase for each participant. Then, we kept the same RTs from the Close distance category. For the Middle-1 category we subtracted 1/3 of the mean difference to the RTs. For the Middle-2 category we subtracted 2/3 of the mean difference to the RTs. And for the Far category, we subtracted the entire mean difference to the RTs. Such a manipulation allowed us to compare RTs depending on the Prime Type factor across the four Distance Category.

We performed an analysis of covariance (ANCOVA) on the distance evaluations and the RTs, with subjects as random variable, Prime Type association (Close sound and Far sound) as within-subject factor, and Distance Category (Close distance, Middle-1 distance, Middle-2 distance and Far distance) as a covariate. Regarding the evaluations, the main effect of the Space Category was significant,  $F(1, 25) = 3296$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.99$ , meaning that participants estimated dots' position quite accurately regarding their category. The main effect of Prime Type was marginal,  $F(1, 25) = 3.459$ ,  $p = 0.07$ ,  $\eta_p^2 = 0.12$ , revealing a tendency for the participants to under evaluate

dots' position after being primed by the Close sound than after being primed by the Far sound. However, a marginal significant Prime Type x Space Category interaction was found,  $F(1, 25) = 3,119$ ,  $p = .09$ ,  $\eta_p^2 = 0.11$ , suggesting that the effect of the Prime Type was moderated by the Distance Category. The Student test used for comparison showed that the difference between the distance evaluations from Close sound condition and Far sound condition was significant only in the Close distance category,  $t(25) = 2.903$ ,  $p < .01$ ,  $d = 0.57$  (i.e., Cohen's  $d = \text{mean difference} \div \text{standard deviation}$ ), suggesting that the main effect of the Prime Type must be explained by the strong intensity of this difference in the first Distance Category.

Table 1

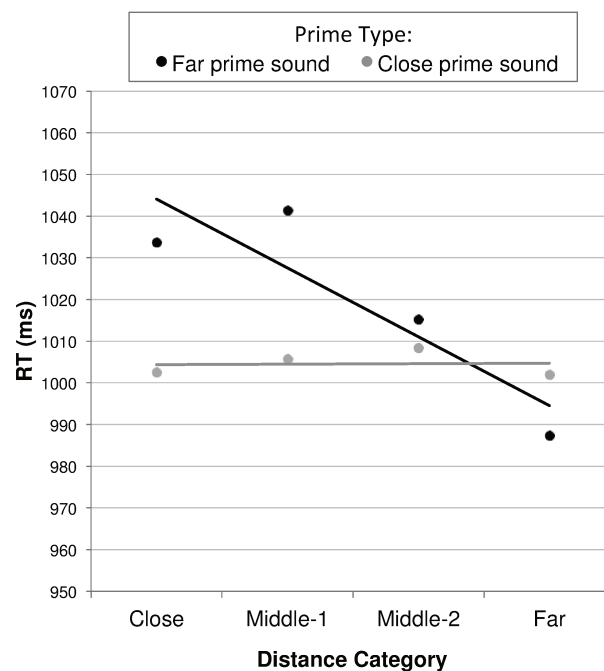
*Distance evaluations (Eval) and Mean Reaction Times (RTs) in Each Experimental Condition*

Space category	Learning phase*		Test phase: Prime Type							
	RT (ms)	SE (ms)	Short distance prime				Long distance prime			
			Eval	SE	RT (ms)	SE (ms)	Eval	SE	RT (ms)	SE (ms)
Close	254	31	2.140	0.066	1002	37	2.246	0.062	1034	48
Middle-1			3.873	0.079	1006	40	3.891	0.074	1041	41
Middle-2			5.444	0.067	1008	35	5.461	0.073	1015	32
Far	303	30	7.048	0.066	1002	36	7.054	0.06	987	34

\* Only Close and Far distances were used in the learning phase. Both distances were accompanied by a corresponding sound. These sounds served as primes in the test phase.

Concerning the RTs, we found no main effect of the Prime Type ( $F = 2.665$ ) revealing no facilitation nor interference effect depending on the sound participants were primed with. Because of the transformations we applied to the RTs, we did not find either a main effect of the Distance Category ( $F = 1.631$ ). However, we found an interaction effect between these two factors,  $F(1, 25) = 5.085$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.17$ , suggesting that a difference between the Prime Type conditions would be moderated by the Distance Category. The Student tests used for comparisons showed a significant difference between the Middle-1 category and the Far category for the Long Sound prime,  $t(25) = 2.741$ ,  $p = .01$ ,  $d = 0.54$ , and a marginal difference between the Close category and the Far category in the same Prime Type condition,  $t(25) = 1.924$ ,  $p = .06$ ,  $d = 0.37$ , suggesting an interference effect due to an incompatibility between the reactivated distance and the actual distance to be judged.

The objective of this experiment was to determine whether a distance judgment could be biased by the reactivation of a precedent distance via a pre-associated sound. What our results suggest is that the Prime Type (Long Sound prime or Short Sound prime) has biased the distance evaluations, at least on the closest distances, and that such a bias is perceptible across the reaction times. More precisely, In the Close category, participants estimated longer distances after the Long Sound prime than after the Short Sound Prime ( $M_{\text{long}} = 2.246$ ;  $M_{\text{short}} = 2.140$ ). Also, after hearing the Long Sound prime, participants were faster to estimate distances from the Close and Middle-1 category than the distances from the Far category. Despite the fact that those results promote caution (we expected a stronger interaction on the reaction times), distance evaluations have been biased depending on the experimental conditions. However, the question remains whether the sound reactivated the distance as a visual feature (i.e., the position of the dot) or as a motor feature, (i.e., the reaching movement). In order to answer such a question, we design a new experiment.



**Figure 2.4** – Average of the mean reaction times (RTs) for each Distance Category condition and for each Prime Type condition. Raw data correspond to the mean RT of each participant (for a given distance category and prime type). The lines on the graphic represent the regression for the two Prime Type conditions as a function of the Distance Category.

In Experiment 2, we used a new response display that was more sensitive to distance evaluations. Also, we used a Trial-by-trial paradigm (see Zmigrod, Spapé, & Hommel, 2009) in order to dissociate the motor reaching movement from the visual feature during the first phase of the trials. No more sound was used.

### **Experiment 2**

Experiment 2 was performed to determine which one of the visual or the motor feature of a precedent distance biased the judgment of an actual distance. The task was adapted from Zmigrod, Spapé and Hommel's (2009) article. If visual feature was responsible, we should observe an effect of the visual alternation or repetition between the first stimulus (S1) and the second stimulus (S2) independently of the reaching movement (R1) performed on S1. If the motor feature was responsible, we should observe an influence of the alternation or the repetition of the reaching movement between S1 and S2, with longer distance evaluations in short distances after an alternation, and shorter distance evaluations in long distance after an alternation. If both features were responsible, we should observe an interaction pattern with stronger effects on distance evaluations when alternations of visual and motor feature are compatible than incompatible.

### **Method**

#### **Participants**

Fifteen right-handed voluntary participants were recruited for this experiment (9 female;  $M = 20.31$ ,  $SD = 2.98$ , age range = 17–28). All of them were students at Paul Valéry University in Montpellier, France, and had normal or corrected-to-normal vision. All the participants were right-handers and signed a consent form.

#### **Apparatus and Procedure**

The apparatus was the same than in Experiment 1 except for the response display. To provide distance estimations, participants responded on a tactile potentiometer transformed in a 25-points evaluation scale. All responses were carried out with the forefinger. This potentiometer was 25 cm long. The participants were told to consider the response display as a reproduction of the projection area. Thus, the closer the

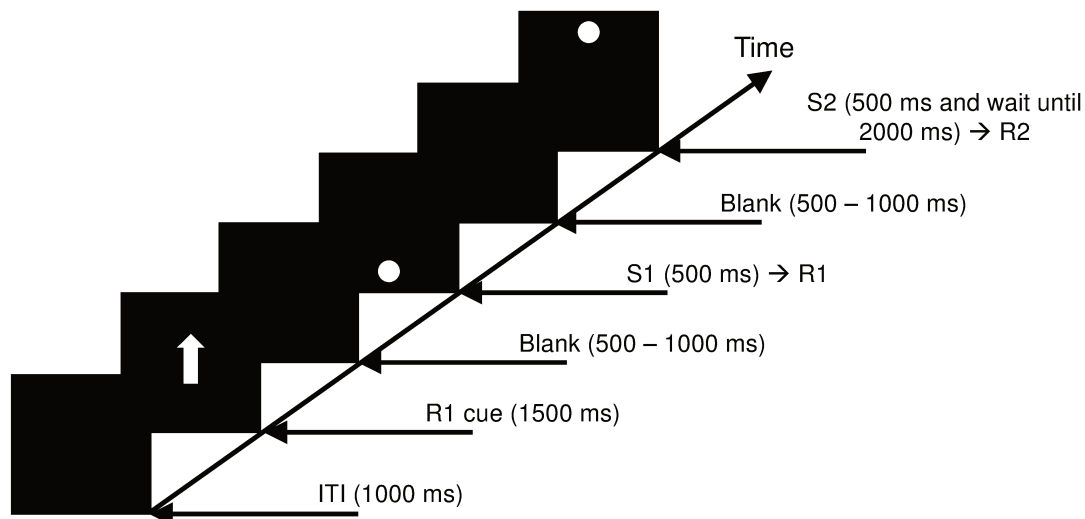
position of the dot in the projection area, the closer they had to reach and press on the potentiometer, and vice versa. The whole apparatus was design by combining Arduino and Makey Makey materials. Responses were recorded with Opensesame software Version 3.1.

The visual stimuli were the same than in Experiment 1 except that there were only four dots, each one representing a distance (5, 13, 26 and 34 cm from the edge of the projection area). The closest dot was at 45 cm from the edge of the table, and the most distant dot was at 74 cm from the edge of the table.

The experiment duration was about 20 min. It contained a practice block of 16 trials and an experimental block of 128 trials. The order of the trial was random. Participants were to carry out two responses per trial: the first response (R1) was a close or a far-reaching movement to the onset of S1 (ignoring its identity) as indicated by the direction of an arrow in the response cue (forward or backward). The second response (R2) was a distance judgment to the relevant position of S2. The identity of R1 was determined by the response cue and the time of execution by the onset of S1 (the closest or the furthest distances), whereas both identity and execution of R2 was determined by S2 (one of the four distances). The participants were instructed to respond as quickly and accurate as possible.

The sequence of events in each trial is shown in Fig. 2.5. At the beginning of each trial, participants kept their forefinger in the starting position, i.e., a rectangular button located at the edge of the table. A response cue with a forward or backward arrow appeared for 1,500 ms to signal R1, which was to be carried out as soon as S1 appeared. The duration between the response cue and S1 randomly varied between 500 and 1,000 ms. In the case of incorrect or absent response an error message was presented on the screen (a red cross) and the trial restarted. After R1, participants came back in the starting position. S2 came up 1,000 ms after returning at the starting position, with one of the four dots signaling the distance estimation to be carried out (R2). R2 speed (RTs) and accuracy (the position on the potentiometer reached by the participants) were analyzed as a function of repetition versus alternation of the reaching movement, and repetition versus alternation of the visual feature (the distance represented by the white dots).





**Figure 2.5** – Sequence of events in Experiment 2. A forward or backward arrow cue signaled a short or long reaching movement on the potentiometer (R1) that has to be performed on the onset of S1 (Distance 1 or Distance 4, represented by a white dot). S2 (Distances 1, 2, 3 or 4) appeared 500 to 1000 ms after participants came back to the starting point. S2 signaled R2, the distance evaluation of S2. This trial corresponds to the Motor repetition condition and the Visual alternation condition.

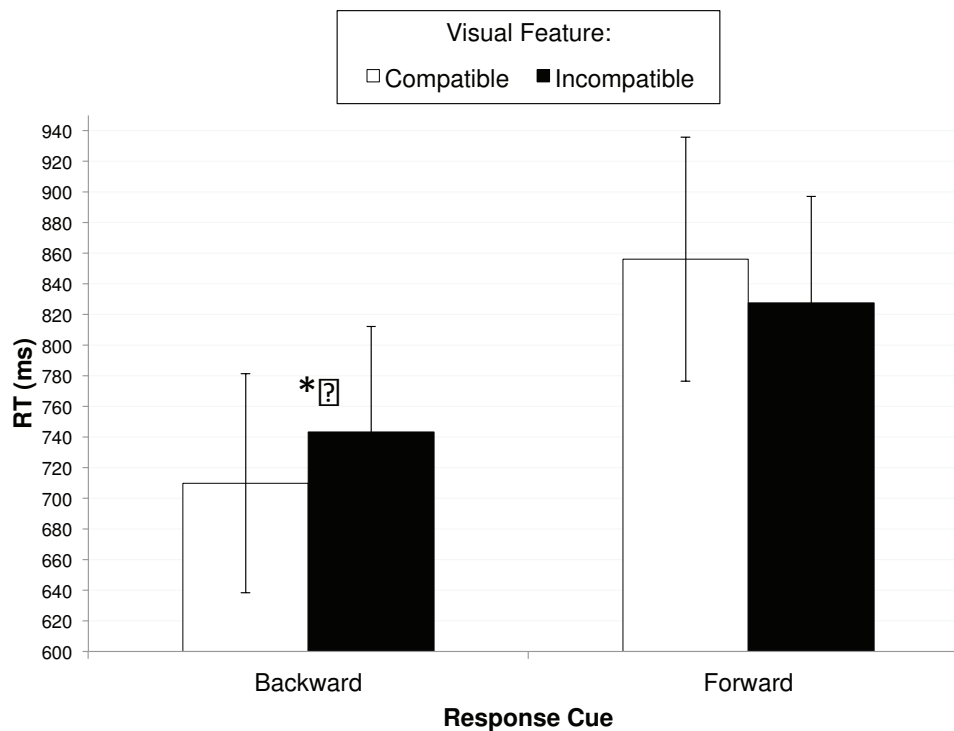
## Results and Discussion

Missing ( $RT > 2,000$ ) or anticipatory ( $RT < 150$  ms) R1 and (2.6%) R2 responses (4.4%) were excluded from analysis. It resulted in the exclusion of one participant. The mean reaction time for R1 was 866 ms ( $SD = 347$ ). We performed an analysis of variance (ANOVAs) on R1 responses and RTs for R1, with subjects as random variable, Response cue (the forward arrow versus the backward arrow) and Visual compatibility (whether the distance displayed is compatible with the response cue or not) as within-subject factors. We also performed an analysis of variance (ANOVA) on the distance evaluations and the RTs for R2, with subjects as random variable, Motor repetition (repetition versus alternation), Visual repetition (repetition versus alternation), and Distance (Distances 1, 2, 3 and 4) as within-subject factors. Due to the proximity between Distances 1 and 2, and between Distances 3 and 4, we considered the condition as a visual repetition when  $S1 = \text{Distance 1}$  and  $S2 = \text{Distance 1 or 2}$ , as well as when  $S1 = \text{Distance 4}$  and  $S2 = \text{Distance 3 or 4}$ . Also, we considered the condition as a motor repetition when the response cue was a backward arrow and  $S2 = \text{Distance 1 or 2}$ , as well as when the cue was a forward arrow and  $S2 = \text{Distance 3 or 4}$ .

Concerning the RTs for R1, we found a main effect of the Response cue, which means that participants estimated responded correctly regarding the Response cue. The absence of interaction shows that the compatibility between the Response cue (forward arrow or backward arrow) and the distance displayed (Distances 1 or 4) did not have any impact on participants' responses. However, we did find significant interaction on the RTs,  $F(1, 13) = 6.86$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.35$ , combined with a main effect of the Response cue, revealing that, as expected, participants were faster to respond on the backward arrow (the Distance 1) than on the forward arrow (the Distance 4). Student test used for comparisons showed that on the backward arrow they were significantly faster to respond when the Visual feature was compatible ( $M = 709 \pm 71$ ) than incompatible ( $M = 743 \pm 69$ ),  $t(13) = 2.09$ ,  $p = .05$ ,  $d = 0.56$ , whereas they were marginally faster when the Visual feature was incompatible ( $M = 827 \pm 69$ ) than compatible on the forward arrow ( $M = 856 \pm 79$ ),  $t(13) = 1.78$ ,  $p = .09$ ,  $d = 0.48$ . This result is quite surprising because the facilitation effect due to the compatibility between the Response cue and the Visual feature is reversed for the responses on the forward Response cue.

The analysis of RTs on R2 revealed no effect of the Motor repetition, of the Visual repetition, and no interaction. The main effect of the Distance was significant, with Distances 1 ( $M = 948 \pm 72$ ) and 2 ( $M = 1017 \pm 68$ ) being significantly different from each other ( $p < .001$ ), as well as Distances 2 and 3 ( $M = 1096 \pm 73$ ;  $p < .01$ ), and Distances 3 and 4 ( $M = 1126 \pm 69$ ;  $p < .05$ ).

The analysis of the distance evaluations on R2 revealed a main effect of the Motor repetition,  $F(1, 13) = 5.317$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.29$ , and an interaction between the Motor repetition and the Distance factors,  $F(3, 39) = 3.211$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.20$ . In order to understand how the Motor repetition affected distance evaluations, we performed separate ANOVAs on each Distance. We found a main effect of the Motor repetition on Distance 1,  $F(1, 13) = 5.265$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.28$ , and on Distance 2,  $F(1, 13) = 6.664$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.34$ , but no significant effect was found on Distances 3 and 4. The Motor repetition factor did not interaction with the Visual repetition in any distance.

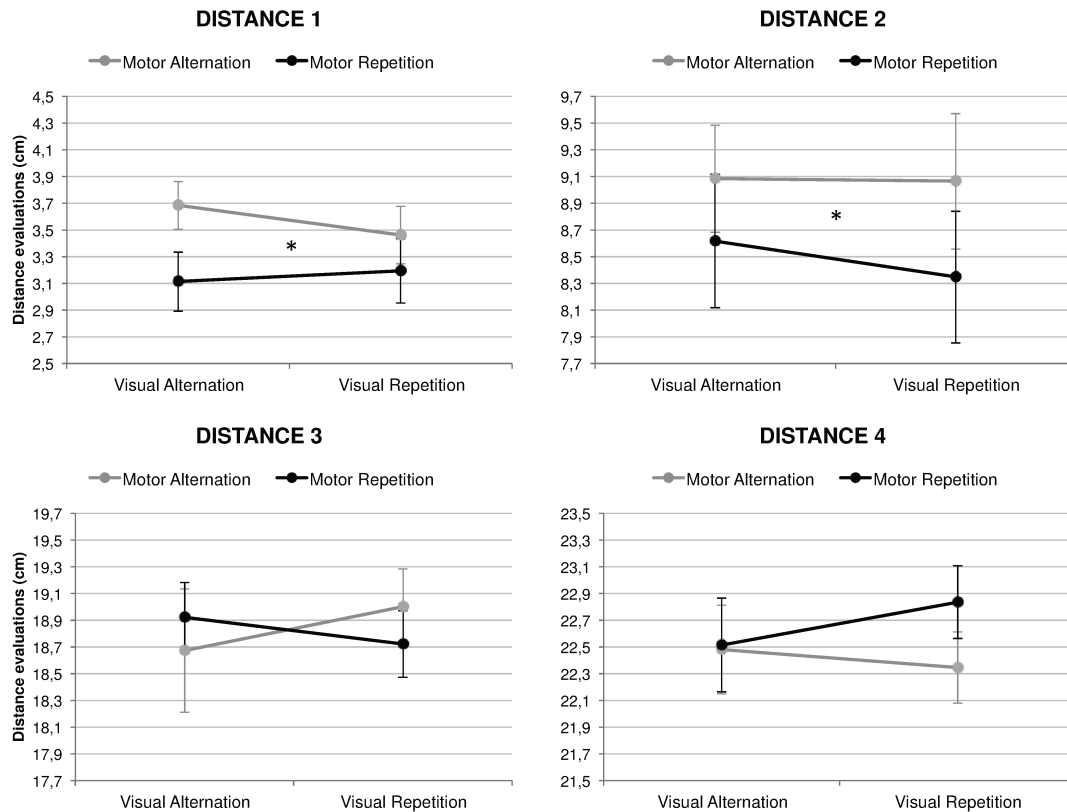


**Figure 2.6** – Average of the mean reaction times (RTs) on S1 for each Response cue and for each Visual feature compatibility. Raw data correspond to the mean RT of each participant (for a given Response cue and Visual feature). Each bar represents the average of these mean RTs across participants. On each mean, the error bar indicates one SEM calculated within-subjects. \* indicates  $p = .05$

These results show a clear influence of the reaching movement performed on S1 on the distance evaluations performed on S2. This influence is statistically visible only on Distance 1 and Distance 2, but the evolution of the distance evaluations pattern on Distance 3 and 4 could be interpreted as a reversal effect on longer distances as indicated by the Motor x Distance interaction (see Fig. 2.7). Participants evaluated shorter distances in a motor repetition condition than in a motor alternation condition on Distance 1 and Distance 2, independently of the visual feature. Two interpretations could be drawn from this result: first, if the binding between the motor and the visual features in S1 had successfully operated, the influence of the alternation of the motor feature would have been observed only in the visual repetition condition. Without the visual repetition, the motor gesture (i.e., the longer reaching movement) should not have influenced the evaluation in S2. Thus, the binding process might not have operated successfully.

The second interpretation is that the use of a reaching movement as both an evaluation process and a motor feature of S1 might have promoted a response effect rather than a perceptual effect. What we observed is that repeating two short reaching movements led to shorter distance evaluations than alternating a long reaching movement and a shorter one. Whatever the identity of S2 is (visual alternation or repetition), the weight of the reaching movement in S1 seems to annihilate any other influence. As shown by Campos and his colleagues (2012, 2014), body-based cues and visual cues have different influences on distance estimations depending on the type of movement performed by participants. When walking, body-based cues have higher influence than visual cues, whereas visual cues are more influential during passive movement. Also, these authors showed that when visual information is constantly manipulated, proprioceptive weights is higher than when visual information is stable. Because visual information was constantly manipulated in our experiments, reaching movements could have been more influential than visual information, even when visual feature was repeated across S1 and S2. This interpretation is interesting because it does not rule out the possibility of a binding process between visual and motor features during S1. Indeed, as shown by data from S1, such an interpretation remains possible.

On S1, we observed an interaction of reaction times between the Response cue (i.e., the reaching movement) and the Visual feature (i.e., the distance displayed). More precisely, we observed a facilitation effect due to the compatibility between these two factors for the backward Response cue, whereas this facilitation effect was reversed on the forward Response cue (see Fig. 2.6). Such result might reveal a main effect of the visual feature on the response time. Indeed, we run a new ANOVA with Response cue and Visual feature per se (instead of Visual compatibility) and found a main effect of the Visual feature, revealing that the previous interaction changed into a main effect,  $F(1, 13) = 6.86$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = 0.35$ . What this result suggest is that perceiving a short distance facilitates the reaction times of reaching movement independently of the relevance of the distance displayed. When participants saw the Distance 1, they were faster to respond on both Response cue conditions (long reaching movement and short reaching movement) than when they saw the Distance 4. This means that despite the irrelevance of the visual feature in R1, the visual feature did influence participants' responses. Therefore, it is reasonable to think that the visual feature had been bounded with the motor feature during S1.



**Figure 2.7** – Average of the mean distance evaluations (cm) as a function of repetition versus alternation (S1–S2) of visual feature (the distance) and motor feature (reaching movement) for each distance. Raw data correspond to the mean distance evaluations of each participant. Each point represents the average of these mean evaluations across participants. On each mean, the error bar indicates one SEM calculated between-subjects. \* indicates  $p < .05$

## General Discussion

The present study addressed the role of the sensorimotor integration process in distance perception. In particular, we asked whether the binding of features from different modalities could bias distance evaluations. In a first experiment, participants judged different distances while being primed with a sound previously associated to a particular distance (visual feature) and a motor response (motor feature) in a learning phase. Results of Experiment 1 showed an influence of the prime on short distance evaluations, and suggest that visual and motor features have been retrieved by the sound. Experiment 2 was performed in order to determine whether the visual or the motor feature did influence the distance evaluations. Results of Experiment 2 showed that only motor features affected distance evaluations, and that the manipulation of visual features did not have any influence on distance evaluations, suggesting a higher

influence of the motor manipulations than the visual manipulations. These findings are consistent with previous studies showing that visual and body-based cues influence the estimation of walked distances differently depending on the type of movement performed (Campos et al., 2012, 2014). During passive locomotion, proprioceptive information is less relevant than visual information, whereas when walking, proprioceptive information is more relevant. Thus, it could be interesting to test the influence of the visual feature alone, without executing any motor movement, in order to determine if the perceptual process can be biased by the reactivation of specific event-files, or memory traces. Such manipulation would be useful to test the hypothesis that variations of perceptual judgments are only caused by response effects (Firestone, 2013).

Despite the fact that judgments biases were observed only on short distances, our results are consistent with the study of Kirsch and Kunde (2013), who showed that short distance evaluations were biased by current action plan. More precisely, before actual execution of a hand-reaching movement, participants had to estimate a visually presented distance. The results showed that distance judgments varied as a function of planned movement amplitude. But more interestingly, these variations specially occurred when amplitude parameters changed rapidly from moment to moment. Obviously, the difference between these two studies is the temporality of the trials. In our study, the influence came from a previously executed movement, whereas in their study, the influence came from a future movement. However, the directions of the effects, at least on the short distances, are similar. Repeating or anticipating short amplitude movements led participants to underestimate distances compared to alternating with or anticipating long amplitude movements. These similarities show that distance judgments are biased by past or future motor activity independently of its relevance regarding the distance judgment.

Coming back to Experiment 1, we believe that an alternative explanation of the results lies in the concept of motor fluency. Indeed, according to the body specificity hypothesis (BSH), space is emotionally scaled (Casasanto, 2009; Milhau, Brouillet & Brouillet, 2013). Moreover, it has been shown that motor fluency contributes to the evaluation of the objects composing our environment (Milhau, Brouillet & Brouillet, 2015; Dru & Cretenet, 2008). Considering that participants were longer to categorize

long distances than short distances in the learning phase, and that reaching long distances requires more effort than reaching short distances, we propose that the prime sound in the test phase reactivated not only the visual information and the amplitude of the motor response, but also its motor fluency, i.e., the easiness or difficulty of processing a particular motor response. The interaction on reaction times observed in the test phase could be supported by this interpretation. Obviously, such interpretation remains hypothetical and would need to be clarified.

In conclusion, the aim of this study was to determine whether the perceptual variations observed in action-specific distance perception experiments rely on the integration and the reactivation of unified episodic memory traces. Despite some methodological issues due to potential response effects, it seems that short distance evaluations using reaching movements were biased by a primed sound, which was pre-associated to a visual distance and motor response in a learning phase (Experiment 1). Moreover, according to the results in Experiment 2, it seems that the bias observed in Experiment 1 was caused by a stronger weight of motor features compared to visual features. These results are consistent with findings in multimodality integration and walked distance judgments (Campos & al., 2012, 2014). However, the weakness of the effects promotes caution regarding our interpretations, and would strongly require further experiments in order to clarify the cause of the observed effects.





### **2.3. Le rôle de la fluence relative dans la perception des distances**

Cet article est en cours de finalisation  
Josa, R., Servajean, P., & Brouillet, D.



### 2.3.1. Résumé de l'article 3

L'objectif de l'étude présentée dans le troisième chapitre de cette thèse était de questionner le rôle de la fluence, et plus particulièrement celui de la fluence relative, dans la perception des distances. Cette problématique était motivée par l'existence de nombreux travaux, à la fois dans le domaine de la perception des distances et celui de la fluence relative, présentant des similitudes dans la nature des différents effets rapportés. En effet, de nombreux résultats expérimentaux ont mis en évidence que le coût physique ou énergétique engendré par nos actions avait pour conséquence *d'agrandir* la perception que nous nous faisons de l'espace. Par exemple, Zadra, Weltman et Proffitt (2016) ont montré que les ressources bioénergétiques étaient directement recrutées pour évaluer les distances parcourues. Plus le coût est important, plus les distances sont perçues comme grandes. Dans le même temps, il a été montré que la fluence – en tant que signal traduisant l'intensité des coûts inhérents aux interactions sensorimotrices que les individus entretiennent avec leur environnement – impacte de manière notable les jugements que nous formulons au quotidien (Alter & Oppenheimer, 2009).

Cependant, il semblerait également que ce ne soit pas uniquement le niveau de fluence absolu qui impacte nos jugements, mais également les variations de ce niveau de fluence, i.e., la fluence relative, ainsi que nos attentes à l'égard de ces variations. Ainsi, nous serions plus à même de catégoriser un stimulus comme ancien si la fluence de son traitement est anormalement élevée (Whittlesea & Williams, 1998a). Dans cette étude nous avons souhaité mettre en lien la notion du coût des actions et celle de la fluence relative. Ce que nous avons cherché à comprendre est si le sentiment de familiarité provoqué par un haut niveau de fluence relative lors d'une expérience sensorimotrice pouvait également impacter des jugements de distance. Notre hypothèse était que lorsque la fluence relative est élevée, le sentiment de proximité vis-à-vis d'un stimulus devrait être supérieur et se traduire par une évaluation de distance plus courte que lorsque la fluence relative perçue est plus faible.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons réalisé une première étude dans laquelle des participants devaient catégoriser la couleur d'un mot à l'aide d'un geste

fluent ou non-fluent. Le mot en question faisait suite à la lecture d'une phrase dont le dernier mot était manquant. Le mot cible était soit le bon mot manquant, soit un mot incongru. De cette manière nous manipulions dans un premier temps la fluence conceptuelle, puis dans un second temps la fluence motrice. Les temps de réponses ont révélé un effet de compatibilité entre la fluence conceptuelle absolue et la fluence motrice absolue, révélant un niveau de fluence relative différent selon les combinaisons des deux fluences absolues.

Dans une seconde expérience, après avoir catégorisé la couleur du mot manquant, les participants devaient évaluer la distance à laquelle apparaissait le mot. Pour cela, les participants devaient appuyer avec leur index sur un potentiomètre tactile et indiquer la position d'apparition du mot. Cette évaluation était une évaluation par comparaison. L'analyse des évaluations a confirmé l'hypothèse concernant les mots fluents, suggérant que la fluence relative influence bien les jugements de distance. Les résultats sont discutés dans le cadre de la Discrepancy-Attribution Hypothesis (Whittlesea, 2002a).

### 2.3.2. **A feeling of physical proximity: The role of relative fluency in distance judgments**

#### **Abstract**

Numerous empirical evidences show that when the cost of an action increases, the distance judgment associated to this action increases. Also, it has been shown that processing fluency, or the subjective experience of ease with which people process information, influences people's judgments such as the feeling of familiarity. In this study, we focused on relative fluency, which is the deviation from the expected level of fluency, and investigated its role in distance judgments. In a first experiment we set up an original experimental paradigm in order to generate relative fluency in a color categorization task. The principle was as follows: participants used a fluent or non-fluent motor response to categorize the color of a fluent or non-fluent word. Results revealed compatibility between the conceptual fluency and the motor fluency, suggesting the emergence of different qualitative level of relative fluency. In a second experiment, participants judged the distance to which the word appeared by a spatial comparison task. Data showed that distance judgments were affected by relative fluency. Results are discussed regarding the Discrepance-Attribution Hypothesis (Whittlesea, 2002).

**Keywords:** Relative fluency; absolute fluency; distance judgments; energetic cost

## **Introduction**

Numerous empirical evidences show that when the cost of an action increases, the distance judgment associated to this action increases also (Lessard et al., 2009; Proffitt, Stefanucci, Banton, & Epstein, 2003; Witt et al., 2016, 2005). What these data suggest is that our perceptual system integrates body-based information, such as the energetic cost that differentiates two distinct actions. On a cognitive level, this effect has been attributed, among other proposals, to a pre-reflective internal simulation of the action (Coello & Delevoye-Turrell, 2007), which would inform the perceptual system about the consequences – on the organism and the environment – of performing a particular action. In this paper we are interested in a metacognitive process that informs the cognitive system of how the treatments proceed: fluency. The idea that we defend is that the perception of distances will be influenced by this metacognitive signal.

Fluency can be defined as the “subjective experience of ease with which people process information” (Alter & Oppenheimer, 2009, p. 1). It is considered as a metacognitive cue that emerges from the quality of processing stimuli. The particularity of processing fluency is that despite the wide variety of forms it takes (e.g., perceptual fluency, conceptual fluency, motor fluency), it produces a reliable effect on people’s judgment. Moreover, this reliable effect is observed in many dimensions such as judgment about truth, liking, confidence or familiarity (for a complete review, see Alter & Oppenheimer, 2009), but to our knowledge no study has focused on its influence on distance judgments. Recently, Cannon, Hayes, and Tipper (2010) extended the scope of fluency by investigating the capacity to generate fluency during sensorimotor experiences. Considering that visual and motor systems are highly integrated (see, Camus, Brouillet, & Brunel, 2016; Gallese, 2016), these authors made the hypotheses that the fluency of perceptual processing can be construed as the fluency of the sensorimotor system. To assess their claim, they combined stimulus-response (s-r) compatibility procedures (i.e., the Simon effect, Simon & Small, 1969; and object affordances, Tucker & Ellis, 1998) in order to manipulate fluency and to test whether this sensorimotor fluency influences implicit positive affects, using EMG techniques. In accordance with their predictions, they

observed that the activity of the zygomaticus muscle mirrored the reaction time effect, with increased activity when responses were fast due to s-r compatibility (see also T. Brouillet, Ferrier, Grosselin, & Brouillet, 2011 who extended their results with behavioral data). These results suggest that usual consequences resulting from perceptual fluency should rather be understood as relating to the efficiency of sensorimotor processing. Moreover, they showed that motor compatibilities generate fluency and that “people have the capacity to integrate and process fluency independently of how it is generated” (Alter & Oppenheimer, 2009, p. 2).

Similar experiments have been conducted and have brought evidences in favor of a sensorimotor approach of fluency. For example, motor fluency (i.e., the ease with which people can perform an action) influences emotional judgments (Beilock & Holt, 2007; D. Brouillet, Milhau, & Brouillet, 2015; T. Brouillet et al., 2011; Dru & Cretenet, 2008; Hayes, Paul, Beuger, & Tipper, 2008; Milhau, Brouillet, & Brouillet, 2013, 2015), memory performances (D. Brouillet, Vagnot, et al., 2015; D. Brouillet, Milhau, Brouillet, & Servajean, 2017; Yang, Gallo, & Beilock, 2009), and fluency of action selection influences sense of agency (Chambon, Sidarus, & Haggard, 2014; Chambon & Haggard, 2012; Sidarus, Chambon, & Haggard, 2013). These examples contribute to suggest that the influence of fluency is independent of the retrieved content of what is to be judged (Schwarz et al., 1991).

As far as we know, there is no direct study questioning the role of processing fluency in distance perception, although the question of energetic cost has largely been addressed and could be highly related to fluency. In such studies, whether subjects have to perform a specific action (Proffitt, 2006; Sugovic & Witt, 2013; Witt et al., 2004) or to anticipate an action (Kirsch, Herbort, Butz, & Kunde, 2012; Morgado, Gentaz, et al., 2013; Jessica K. Witt & Proffitt, 2008), distances are perceived longer when the energetic cost associated with the action is important than when it is weaker. For example, in Morgado et al., (2013) participants had to evaluate distances between their forefinger and a cylinder depending on three obstacle conditions (i.e., three transparent barriers). Before each evaluation, participants had to mentally reach with their right hand the cylinder located behind the transparent barrier. Results showed that the wider the barrier, the longer participant’s estimations. But what is also interesting is that participants reported greater anticipated reaching

effort when the barrier was wide than when it was medium or narrow, suggesting an increase in processing anticipated reaching effort. Thus, this result raises the question whether anticipating an effortful action is systematically associated to an increase of processing such effortful action, and so forth, to a decrease of fluency. In the same vein, we could ask whether energetic cost is integrated into the visual process through experiencing fluency. If so, it would suggest that distance judgments, as well as hedonic or memory judgments, are affected by processing fluency.

The objective of this study is to address the question of the role of processing fluency in distance perception. However, the absolute level of fluency experienced during processing information is not the unique metacognitive cue that influences judgments. As mentioned by Wänke and Hansen (2015), the absolute level of fluency is just one of the aspects of the subjective ease experienced during processing. Despite, they insist on relative fluency – “that is, the change in fluency or the deviation from the expected level of fluency” p. 195. This assumption is based on empirical evidences showing that a feeling of familiarity can arise from a discrepancy effect, which is the surprise caused by the difference between the expected difficulty of processing and the actual easiness of processing (Whittlesea & Williams, 2001; Whittlesea & Williams, 1998). Taking this key aspect of fluency in count, we realized two experiments in order to manipulate relative fluency and to observe its impact on distance judgments. The first experiment was designed to test a new paradigm which objective was to manipulate the compatibility between the absolute fluency of visual stimulus and the absolute fluency of a motor response (ipsilateral action vs. contralateral action). In the second experiment, we measured the influence of processing relative fluency on distance judgments.

### **Experiment 1**

It is well known that space laterality is correlated to emotional judgments (Casasanto, 2009; Freddi, Brouillet, Cretenet, Heurley, & Dru, 2016). Also, lateral gestures influence recognition by generating different levels of fluency independently of the hand (Fisk & Goodale, 1985). For example, in a recognition task, participants are more likely to categorize a word as old after a fluent gesture (i.e., ipsilateral



gesture) than after a non-fluent gesture (i.e., contralateral gesture) (D. Brouillet et al., 2017). On that basis, we built on an experiment on the following idea: when one is processing a fluent stimulus (e.g., a familiar stimulus), s/he would expect to produce a fluent response. Indeed, according to the Ideomotor Theory (Elsner & Hommel, 2001; Kunde, 2001), the perception of a stimulus automatically triggers the motor response associated to this stimulus. Consequently, processing fluency of a stimulus cannot be detached from executing the response triggered by this stimulus. A fluent response must be bound to a fluent stimulus. Similarly, when one is processing a non-fluent stimulus (e.g., a very new and unknown stimulus), s/he would expect a non-fluent response. Using this reasoning, we manipulated the expectation of motor fluency of participants via the absolute fluency of a target word (i.e., the compatibility of an anticipated missing word of a sentence that participants had previously read). We also manipulated the motor response fluency (i.e., ipsilateral or contralateral), which could be compatible or incompatible with its own expectation depending on the absolute fluency of the visual stimulus. What we expected is that participants would respond faster when the absolute fluency of the stimulus was compatible with the absolute fluency of the motor response than when they both were incompatible.

### **Method**

#### **Participants**

Twenty students from the University Paul Valéry of Montpellier, France, (10 females and 10 males) participated ( $m_{\text{age}} = 22.1$ ,  $s_{\text{age}} = 4.47$ ). All participants were right-handers and had normal or corrected-to-normal vision as indicated by self-report. They were a priori naïve to the purpose of the experiment. All participants gave written informed consent to participate in the study.

#### **Apparatus and procedure**

In this experiment, participants were exposed to sentences with the last word missing. All the sentences and the missing words were previously tested in order to be easy to anticipate (e.g., the French translation of “Currently, we are in the city of ...”; compatible word = Montpellier; incompatible word = door). Each trial consisted in two tasks: first, participants read loudly the sentence while holding their (right or left) forefinger on the base-button (8 cm from the edge of the table), then, when they had

anticipated the missing word, they pressed the start button (11 cm from the edge of the table), which made the missing word appearing at the center of the screen. The missing word appeared 250 ms after participants pressed start button (see Whittlesea, 2002). Both buttons were placed in the sagittal axis of participants. The missing word was either compatible with the sentence or incompatible. Also, the missing word was either blue or purple. The second task consisted in categorizing the color of the word by pressing two different buttons placed on each side of the start button at 6 cm from it, one in the ipsilateral space, and the other in the contralateral space. Half of the participants responded on the ipsilateral button for blue and on the contralateral button for purple. This association was counterbalanced for the other half. The missing word remained visible until participants responded. After responding, participants returned to the start button and a new trial began.

In total, participants were exposed to 82 trials, 2 training trials and 80 test trials. They had as many time as they wanted to read the sentences. We manipulated the conceptual fluency with the missing word by presenting either the compatible one (i.e., the expected word) or the incompatible one (i.e., an incongruent word). Motor fluency was controlled by the color of the missing word and the response side associated (i.e., ipsilateral space or contralateral space). Half of the participants responded with their right hand and the other half responded with their left hand. We used reaction times in the color categorization task as dependent variable.

To resume, we investigated three sources of variance: the compatibility of the missing word (the Word Compatibility: compatible vs. incompatible) and the laterality of the motor response (the Action Type: ipsilateral vs. contralateral) were within-participants factors; the hand used to produce responses (the Hand of Response: right vs. left) was a between-participants factor.

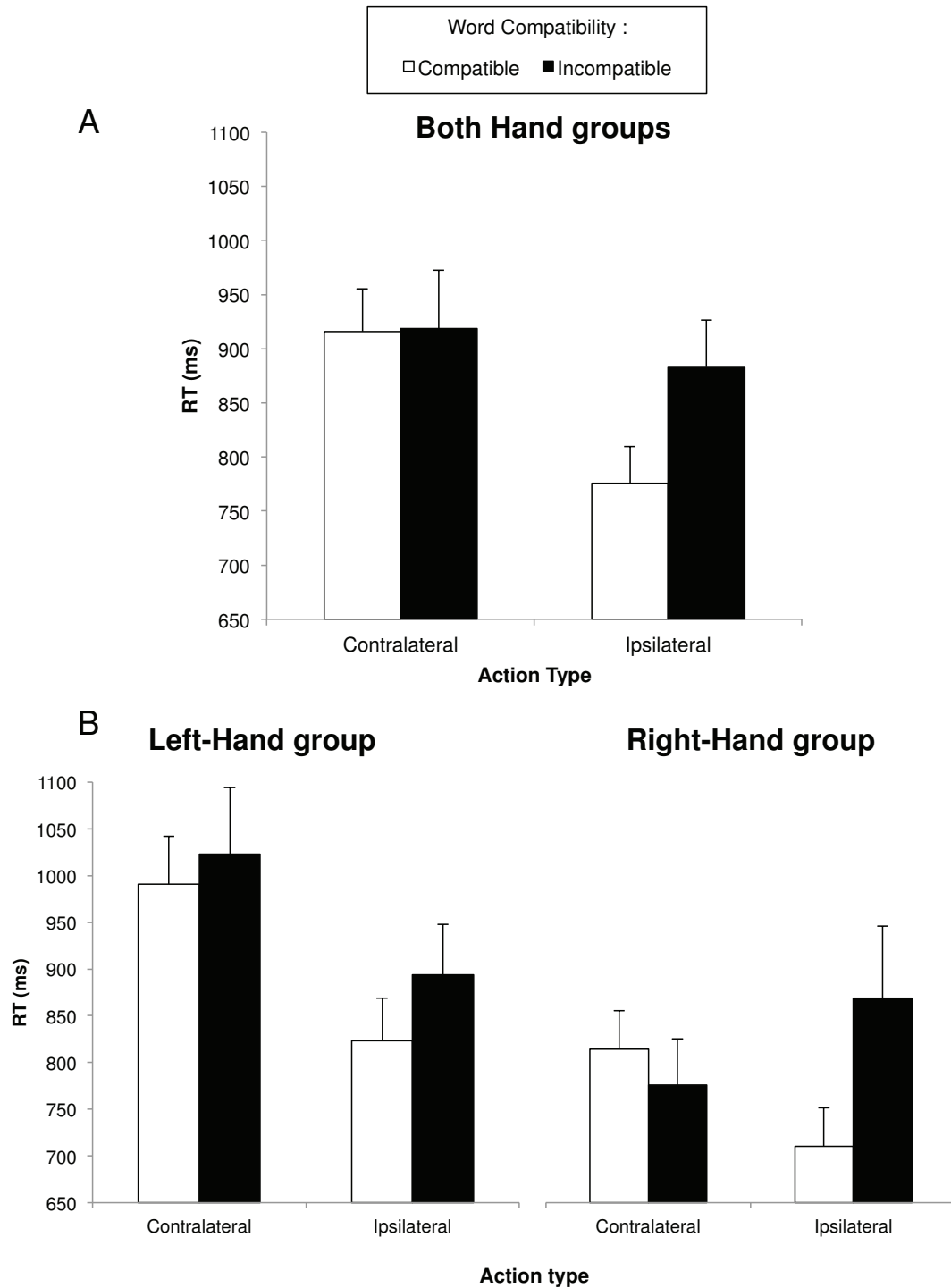
### **Results and Discussion**

First, note that one participant was excluded because of the incoherence of its reaction times (its reaction times were twice longer than the overall average reaction times). We analyzed the reaction times during the color categorization task by running ANOVAs with subjects as a random variable, the Word Compatibility (compatible vs. incompatible) and the Action Type (ipsi vs. contro) as within factors, and the Hand of Response as between factor.

Analyses revealed a main effect of the Action Type, with the participants being faster to respond on the ipsilateral side ( $M = 829.8$  ms) than on the contralateral side ( $M = 918.2$  ms),  $F(1, 17) = 10.905$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .39$ . Also, there was a main effect of the Word Compatibility, with the participants being faster to respond when the word was compatible ( $M = 846.3$  ms) than incompatible ( $M = 901.7$  ms),  $F(1, 17) = 6.645$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .28$ .

In line with our expectations we found a significant interaction between the Action Type and the Word Compatibility,  $F(1, 17) = 7.252$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .30$ . The Student tests used for comparisons showed that when the word was compatible, participants were faster to respond on the ipsilateral side ( $M = 776$  ms) than on the contralateral side ( $M = 916.78$  ms),  $t(18) = 4.49$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.01$  (i.e., Cohen's  $d$  mean difference standard deviation). It was not the case when the word was incompatible ( $t(18) = 0.85$ ). Also, participants were faster to respond on the ipsilateral side when the word was compatible ( $M = 776$  ms) than when it was incompatible ( $M = 883.8$  ms),  $t(18) = 3.55$ ,  $p < .01$ ,  $d = 0.81$ , but there was no difference when participants responded on the contralateral side ( $t(18) = 0.10$ ).

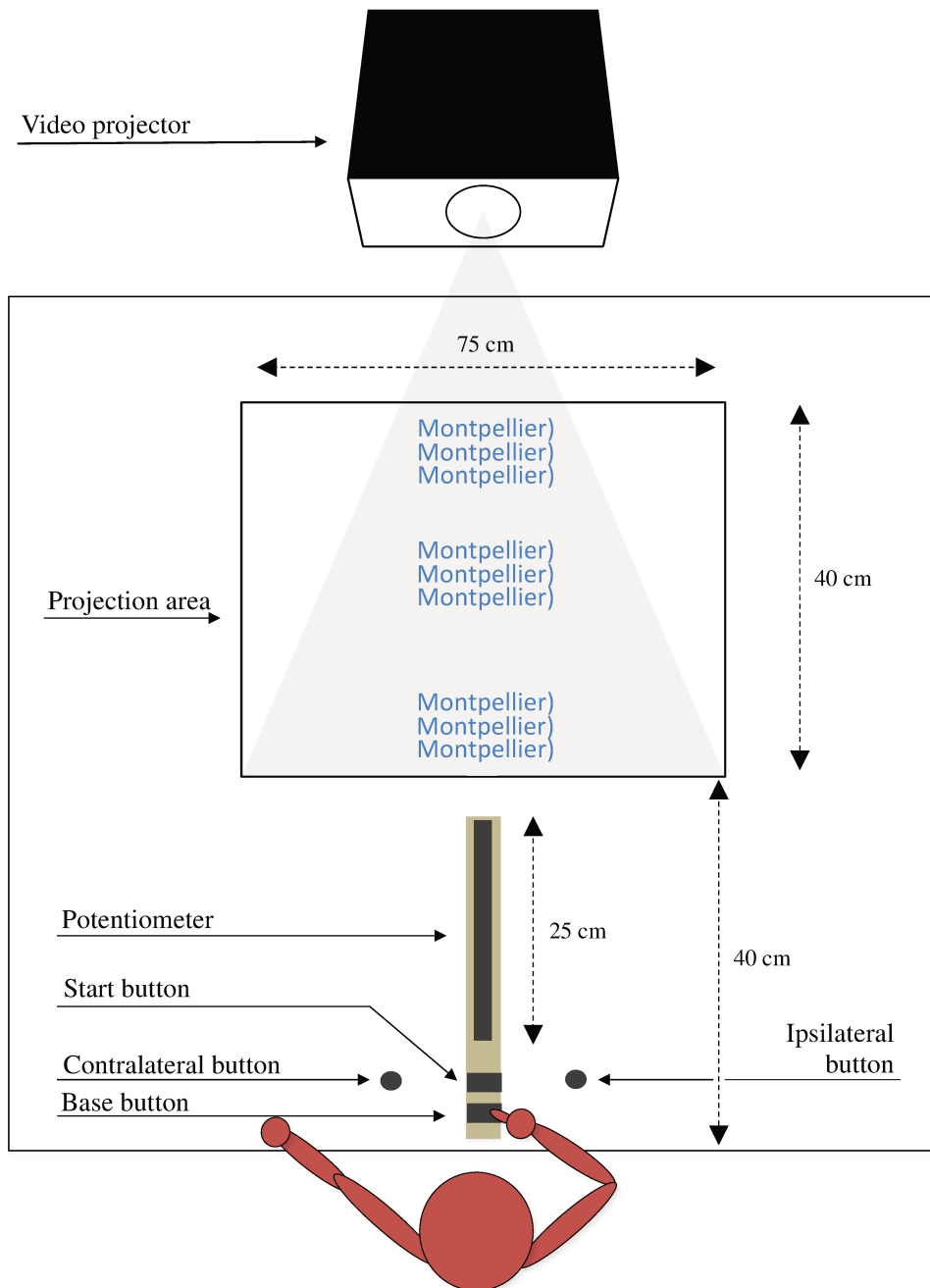
The analyses also revealed an interaction effect between the Action Type, and the Hand of Response,  $F(1, 17) = 6.955$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .29$ . Indeed, the participants who responded with their left hand were faster on the ipsilateral side ( $M = 858.9$  ms) than the contralateral side ( $M = 1007.4$  ms),  $t(10) = 3.64$ ,  $p < .01$ ,  $d = 1.09$ , but this was not true for the participants who responded with their right hand. Finally, there was a trend interaction between the Action Type, the Word Compatibility, and the Hand of Response,  $F(1, 17) = 4.03$ ,  $p = .06$ ,  $\eta_p^2 = .000$  (see Fig. 2.8).



**Figure 2.8** – Average of the mean reaction times (RTs) for each Word Compatibility and for each Action Type for both Hand groups (A) and for each Hand group (B). Raw data correspond to the mean RT of each participant (for a given Word Compatibility and Action Type). Each bar represents the average of these mean RTs across participants. On each mean, the error bar indicates one SEM calculated within-subjects (Loftus & Masson, 1994).

The objective of this first experiment was to observe the effect of relative fluency on reaction times by manipulating conceptual fluency and motor fluency. The interaction effect between the Action Type and the Word Compatibility seems to reveal that relative fluency did emerge from the two absolute fluencies, and suggests a compatibility effect between the absolute fluency of the word and the absolute fluency of the response. This interpretation suggests that when participants are exposed to compatible words (i.e., the expected words) they would expect their response to be fluent. Conversely, when participants are exposed to incompatible words (i.e., the incongruent words) they would expect their response to be non-fluent. This interpretation is partially confirmed since the responses of the participants are facilitated when the absolute fluency of the response matches with the expectation of the absolute fluency of the word. However, relative fluency is not sufficient to explain the variations observed on reaction times: independently of their compatibility, both absolute fluencies directly influenced reaction times. Indeed, in accordance with the literature (e.g., D. Brouillet et al., 2017), reaction times in the ipsilateral condition were shorter than in the contralateral condition, and reaction times concerning compatible words were shorter than those concerning incompatible words.

Another interesting result is the trend interaction effect between the Action Type, the Word Compatibility, and the Hand of Response (see Fig. 2.8B), which suggests that the Action Type only had a main effect on participants who responded with their left hand. However, the literature shows that whatever the hand of response, the reaction times should be shorter on the ipsilateral side than on the contralateral side. We believe that this lack of effect for participants responding with the right hand could be explained by a more powerful interaction effect between Word Compatibility and Action Type compared to the participants who responded with their left hand. But an alternative explanation exists. Only right-handers participated in this experiment. So the ones responding with their left hand (i.e., the non-dominant hand) should have experienced more difficulty to respond, and thus, the absolute fluency of the response might have had a greater influence on reaction times. Finally, these results show that relative fluency emerged from the manipulation of the perceptual and the motor absolute fluencies.



**Figure 2.9** – Schematic illustration of the experimental apparatus in Experiment 2. A projector placed above the table displayed the stimuli at various positions. Each of the 9 positions of the target word is represented. They are regrouped in the 3 distance categories (Close, Middle and Far). Participants responded with their forefinger on the different buttons and on the potentiometer in order to evaluate the various distances projected by the video projector. After reading a sentence and having anticipated the last word missing, participants pressed the Start button. The missing word, which was compatible or incompatible with the sentence, appeared 250 ms after pressing the Start button. The word disappeared after 300 ms. Then, participants evaluated its position by reaching and pressing the potentiometer in a spatial comparison task.

## **Experiment 2**

The objective of the second experiment was to manipulate relative fluency and to observe its impact on distance judgments. In this experiment, participants realized the same task than in the first experiment except that after the color categorization task they completed a distance evaluation task. We expected that relative fluency would emerge from the compatibility between the motor fluency (i.e., the Action Type) and its expectation produced by the conceptual fluency of the missing word (i.e., Word Compatibility), and, as a consequence, that the compatibility would affect the distance judgments. More precisely, we expected that after processing high relative fluency, that is to say, when the motor fluency is incompatible with the word fluency, participants would evaluate shorter distance than when both fluencies are compatible.

### **Method**

#### **Participants**

Twenty-two students from the University Paul Valéry of Montpellier, France, (11 females and 10 males) participated (age = 23.5, age = 3.06). All participants were right-handers and had normal or corrected-to-normal vision as indicated by self-report. They were a priori naïve to the purpose of the experiment, and they did not participate in prior distance-perception experiments. All participants gave written informed consent to participate in the study.

#### **Apparatus and Procedure**

In this experiment, stimuli were projected on a table by a video projector (Epson EB-U04 Tri-LCD) in a 40 cm long and 75 cm large horizontal area. This area was at 40 cm from the edge of the table. The experimental display was the same than in the first experiment except for the distance judgments. To provide distance estimations, participants responded on a tactile potentiometer transformed in a 40-points evaluation scale. This potentiometer was 25 cm long (14 cm from the edge). The whole apparatus was design by combining Arduino and Makey Makey materials. Responses were recorded with Opensesame software Version 3.1 (see Fig. 2.9).

In total, participants performed 152 trials, 8 training trials and 144 test trials. Each trial consisted in three tasks. The two first tasks were the same than in the first experiment, except that the missing word appeared at different distances from the participants. Again, the word appeared 250 ms after the participants pressed the Start button. Contrary to the Experiment 1, the words disappeared after 300 ms. In total there were 9 distances regrouped in three categories: close distances (6.3, 9.4, 12.5 cm from the edge of the proximal side of the screen), middle distances (17.2, 20.3, 23.4 cm from the edge of the proximal side of the screen) and long distances (28.1, 31.2, 34.3 cm from the edge of the proximal side of the screen). Consequently, the missing word was conditioned by three within-participants factors: the Word Compatibility (compatible or incompatible with the sentence), the Action Type (in the ipsilateral space or the contralateral space) and the Distance Category (the close, the middle or the far category). After the color categorization task, the participants evaluated the position of the word in the projected area in a spatial comparison task by reaching and pressing the potentiometer with their forefinger. The participants were told to consider the potentiometer as a reproduction of the projected area. Thus, the closer the position of the word in the projection area, the closer they had to press the potentiometer, and vice versa. After the distance judgment, participants returned to the start button and a new trial began.

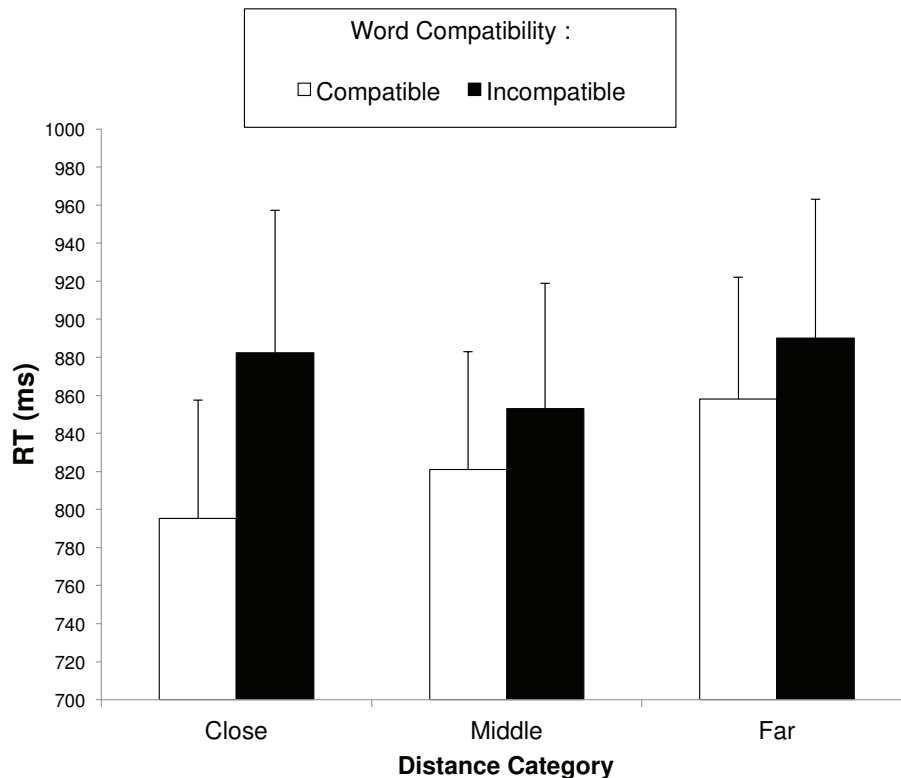
### **Data Analyses**

For both tasks (i.e., the distance estimation task and the color judgment task), the 9 distances were averaged into three different distance categories (i.e, close with distances 1; 2; 3; middle with distances 4; 5; 6; far with distances 7; 8; 9). Repeated measures analyses of variances (ANOVA) were conducted with Distance Category, Word Compatibility and Action Type as within-subject factors, and the Hand of Response as between-subject factor. Evaluations on the potentiometer were transformed into centimeters. So the 40-points evaluation scale was transformed into a 25 cm evaluation scale. Thus, the dependent variables were the reached point of the potentiometer transformed into centimeters for the distance estimations and the reaction times during the color categorization task. Trials were considered as an error when participants did not respond correct about the word color.

Data from unreliable trials (wrong procedure from participants, response display failure) and errors were excluded from the analyses. This led to the removal of 1.0%



of errors and 1.1% of unreliable trials from the total trials of both distance estimations and color judgments.



**Figure 2.10** – Average of the mean reaction times in the colour categorization task (RTs) for each Word Compatibility and for each Distance Category. Raw data correspond to the mean RT of each participant (for a given Word Compatibility and Distance Category). Each bar represents the average of these mean RTs across participants. On each mean, the error bar indicates one SEM calculated within-subjects.

### Results Discussion

The analyses of reaction time during the color categorization task revealed a significant main effect of the distance,  $F(2, 36) = 4.226$ ,  $p < .05$ , and pairwise comparisons with Bonferroni correction showed a significant difference between the Close distance category ( $M = 839$  ms  $\pm$  95) and the Far distance category ( $M = 875$  ms  $\pm$  95;  $p_{BC} < .05$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.19$ ), and between the Middle distance category ( $M = 837$  ms  $\pm$  91) and the Far distance category. Participants were faster to categorize the word color when it appeared in the Close and Middle distance categories, than when it appeared in the Far distance category. Also, the analyses revealed a main effect of Word Compatibility,  $F(1, 18) = 11.133$ ,  $p < .01$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.19$ , with participants being

faster when the missing word was compatible ( $M = 825 \text{ ms} \pm 106$ ) than when it was incompatible ( $M = 876 \text{ ms} \pm 122$ ). The interaction between Distance Category and Word compatibility was marginal,  $F(1, 18) = 3.118$ ,  $p = .056$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.15$ . No effect of the Action Type ( $p = .60$ ) or the Hand of Response ( $p = .40$ ) was found (see Fig. 2.10).

Separate ANOVAs were run for each distance category with the Word Compatibility and the Action Type as within factors and the Hand of Response as between factor (for similar analyses, see Grade, Pesenti, & Edwards, 2015). No main effects or interaction effects were statistically different in the Close and the Middle distance categories, which means that distance judgments were not differently affected according to the manipulated variables. However, the analyses of the Far distance category revealed main effects of the Action Type,  $F(1, 18) = 6.70$ ,  $p < .05$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.27$ , and the hand of respond,  $F(1, 18) = 6.88$ ,  $p < .05$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.27$ , as well as a significant interaction between the Action Type and the Word Compatibility,  $F(1, 18) = 10.35$ ,  $p < .01$ ,  $\hat{\eta}_p^2 = 0.37$ . Planned comparisons showed a significant difference between ipsi- and contralateral conditions when the missing word was compatible,  $F(1, 18) = 15.732$ ,  $p < .001$ , but no difference when the missing word was incompatible ( $p = .96$ ). Participants estimated distances longer after an ipsilateral gesture ( $M = 20.7 \text{ cm} \pm 0.17$ ) than a contralateral gesture ( $M = 20.2 \text{ cm} \pm 0.14$ ), only when the missing word was compatible. Also, a marginal difference was observed between compatible word and incompatible word conditions after an ipsilateral gesture,  $F(1, 18) = 4.00$ ,  $p = .06$ , but not after a contralateral gesture ( $p = .31$ ) (see Fig. 2.11).

The principal result of this experiment concerns the interaction between the Action Type and the Word Compatibility factors in the Far distance category. As expected, the compatibility of the two absolute fluencies (i.e., conceptual fluency and motor fluency) influenced the distance estimations. Compatible words were perceived closer after a contralateral gesture than after an ipsilateral gesture. In contrast, we observed no difference on the distance estimations depending on the gesture fluency for incongruent words. According to the discrepancy hypothesis (Whittlesea, 2002; Whittlesea & Williams, 2000), relative fluency emerges when the quality of

processing absolute fluency is surprising regarding its expectation. This effect of discrepancy produces changes in the internal states resulting in an unconscious feeling of familiarity, which leads individuals to attribute its source in the target stimulus. This effect has been highlighted in experiments on recognition, where words are more likely to be recognized as old after relative fluency is generated (Kronlund & Whittlesea, 2006; Westerman, 2008; B. W. Whittlesea & Williams, 1998a), as well as on hedonic judgments (Dechêne, Stahl, Hansen, & Wänke, 2009). In our experiment, we manipulated relative fluency by varying the expectation of the absolute motor fluency depending on the conceptual fluency: perceiving a fluent stimulus (i.e., the compatible word) would have prepared participants to realize a fluent action (i.e., the ipsilateral gesture). When it was not the case (i.e., performing a non-fluent gesture after perceiving the compatible word), participants underestimated the distances compared to when the action was coherent with the absolute conceptual fluency. We believe that this effect of discrepancy (i.e., the unexpected level of fluency) may have produced a feeling of familiarity and increased the probability to estimate the distance as closer. Nevertheless, as mentioned in Experiment 1, relative fluency is not the unique metacognitive cue that contributes to judgment. Absolute fluencies are also integrated in the judgment process. Consequently, no such effect was observed after perceiving an incongruent word, suggesting that the absolute level of conceptual fluency may have reduced the influence of relative fluency.

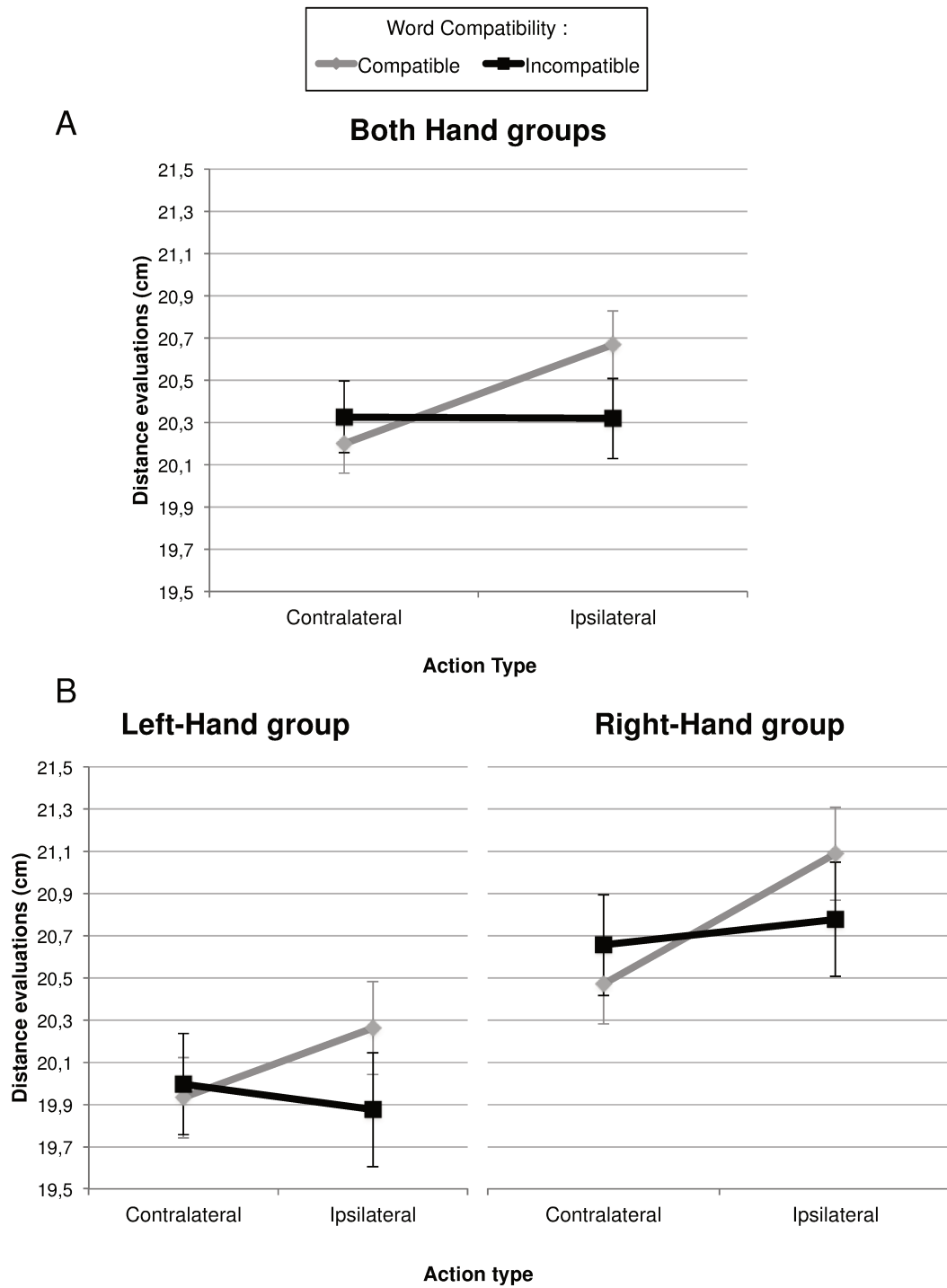
The Hand of Response effect observed in the Far distance category shows that participants responding with their non-dominant hand (i.e., the left hand) estimated shorter distances than those responding with their dominant hand. The reason of this difference may be purely mechanical, revealing a higher natural extension capacity for the dominant hand than the non-dominant hand. But most important, and contrary to the Experiment 1, the Hand of Response did not interact with any other factor, showing that whatever the hand used, participants presented the same pattern of response depending on the interaction of the Action Type and the Word Compatibility (see Fig. 2.11B). Also, the main effect of the Action Type shows that after a contralateral gesture participants underestimated the distances compared to after an ipsilateral gesture. This result is quite surprising because it suggests that distances appear closer after a non-fluent gesture than after a fluent gesture. But this main effect

could also be due only to a strong difference between ipsi- and contralateral responses when the word was compatible.

No such results were observed in the Close and Middle distance categories. We believe that the smaller amplitudes of the estimations on such distances could explain this lack of effect. Moreover, the pattern observed in the medium distance amplitude concerning the interaction between the Action Type and the Word Compatibility looks similar to the one observed in the Far distance category. The absence of significance might be due to higher 95% CI and larger standard errors ( $SEM_{middle} = 0.29$  cm;  $SEM_{far} = 0.16$ ), as well as lower differences between the different modalities of the interaction.

Concerning reaction times in the color categorization task, and contrary to the Experiment 1, we did not observe an interaction between the Action Type and the Word Compatibility. We only observed a main effect of the Word Compatibility, revealing that participants responded faster when they saw the compatible word than an incompatible word. The lack of interaction effect may be due to a greater complexity of the task than in the Experiment 1, and the fact that the color categorization task was not the focal task, but instead a means to an end allowing the participant to access to the second task, the distance judgment task. Also, no hand effect was observed, which means that the use of the non-dominant hand did not lead to an increase of reaction times.

Finally, we observed a main effect of the distance in reaction times, with the participants being faster for categorizing the word color when the words appeared close than when they appeared far. The more plausible explanation for this effect is that the greater the distance, the lower the absolute perceptual fluency of the missing word.



**Figure 2.11** – Average of the mean distance evaluations (cm) for each Word Compatibility and for each Action Type for both Hand groups (A) and for each Hand group (B). Raw data correspond to the mean distance evaluations of each participant. Each bar represents the average of these mean RTs across participants. On each mean, the error bar indicates one SEM calculated within-subjects.

## General Discussion

The present study addressed, for the first time, the role of relative fluency in distance evaluation task. In a first experiment we set up an original experimental paradigm in order to generate relative fluency in a color categorization task. The principle was as follows: participants used a fluent or non-fluent motor response to categorize the color of a fluent or non-fluent word. Thus, combining conceptual and motor absolute fluencies allowed us to generate relative fluency. In a second experiment, the task was identical except that the word appeared at different distances. After categorizing the word, participants judged the distance to which the word appeared by a spatial comparison task.

The results of Experiment 1 are consistent with our expectation since the reaction times are different depending on the combination of the absolute fluencies, and suggest that participants experienced qualitative different relative fluencies over the different conditions. Indeed, we observed a compatibility effect between the Word Compatibility and the motor response. This compatibility effect revealed a facilitation effect (faster RTs in the color categorization task) when the word was compatible and the motor response was fluent (i.e., in the ipsilateral space) compared to when the word was incompatible and the motor response was fluent. This compatibility effect was not observed when the motor response was non-fluent (i.e., in the contralateral space) suggesting a stronger effect of the absolute motor fluency. As mentioned by Wänke and Hansen (2015), “Both changes in experiences and current states may of course be used as cues”, p. 198, suggesting that relative fluency is not the unique cue that individuals use to calibrate their judgments. We could imagine that responding in the contralateral space increased the impact of the motor fluency. Moreover, as we can see in Fig. 2.8, the difference between the right-hand-group and left-hand-group could strengthen this interpretation. Because all participants were right-handers, responding in the contralateral space for those using the left hand could have been even less fluent.

In Experiment 2, participants realized the same categorization task. However, the word to be judged appeared at different distances. Right after the color categorization task, participants had to judge the position of the word by reaching on a tactile potentiometer in a space comparison task. The results revealed no effect in the Close and Middle distances categories. However, we observed an interaction effect between the Action Type (i.e., the motor response) and the Word Compatibility in the Far distances category. Compatible words were judged closer after a contralateral response than after an ipsilateral response. No difference was observed after incompatible words. Moreover, the fact that this pattern of result is similar regardless of the hand used shows that the relative fluency – generated by the combination of the two absolute fluencies – influenced the distance evaluations. Relative fluency is “the change in fluency or the deviation from the expected level of fluency” experienced by individuals along a sensorimotor experience (Wänke & Hansen, 2015, p. 1).

Our interpretation is that the conceptual fluency of the word might have prepared the participants to a compatible motor fluency. Moreover, as shown by Milhau and colleagues (Milhau et al., 2017), positive or negative words activate motor fluency simulation and influence perceptual judgments. Even though the valence of the words we used was controlled, we know that processing fluency has an impact on affective judgments (for a review, see Alter & Oppenheimer, 2009). According to this reasoning, the motor response in the contralateral space might have generated higher relative fluency after compatible words than the motor responses in the ipsilateral space did because of the discrepancy between the expected and actual level of absolute motor fluency (Whittlesea, 2002). If so, we could say that relative fluency influenced the participants’ distance evaluations. The absence of difference in the distance evaluation after incompatible words was not expected. However, it matches the results of Cannon et al. (2010) who found a link between fluency and positive affect but not with negative affect, but this interpretation promotes caution. Another reason, maybe more persuasive, could be that the perception of discrepancy is not automatic but instead depends on the attitude of individuals toward their processing, the context and the task they are engaged in (Whittlesea & Williams, 2001).

Our results are consistent with the literature showing that relative fluency increases the probability of illusion recognitions (Westerman, 2008; Whittlesea, 2002), as well as the hedonic nature of our judgments (Dechêne et al., 2009).

According to the Discrepancy-Attribution Hypothesis (Whittlesea & Williams, 2001a; Whittlesea & Williams, 2001b), processing relative fluency, or experiencing discrepancy, increases the feeling of familiarity, which, in turn, leads to higher false recognition and higher liking judgments. The attribution process responsible of such phenomena could be the same that caused differences in distance evaluations. A strong interpretation of the results would be that the feeling of cognitive proximity toward the compatible words caused by relative fluency could have transformed into a physical proximity and led participants to make shorter distance evaluations.

The general purpose of this study was to ask the question of the role of relative fluency in distance perception, and more precisely in the variations of perceived distances observed depending on the variations of energetic cost (Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt, 2011). Even though our study is not sufficient to answer such a major question, we believe that relative fluency – i.e., the variations of a metacognitive cue that emerges from the quality of our interactions with the environment – could be highly involved into the visual process. Moreover, because of its sensorimotor nature (Cannon et al., 2010), fluency might carry body-based information, which is essential to vision (Campos et al., 2012; O'Regan & Noë, 2001; Zadra et al., 2016). Such information could be used by the perceptual system to anticipate the consequence of future actions. As proposed by Witt and Riley (2014), perception is direct, action-specific, and depends on the controlled detection of information available in the extended global array (Stoffregen & Bardy, 2001) that includes information specifying the environment in relation to the perceiver. Such a proposition – which is inspired by the ecological claim that perception is direct and animal-specific (Gibson, 1979) – does not mention fluency as a potential media of information about the animal-environment system. Our proposition is that relative fluency is highly informative about the phenomenological experiences we have, and has an important role in shaping the perception of our environment, especially distance perception.

In conclusion, our study is the first to address the question of the role of relative fluency in distance perception. What our data shows is that participants evaluated shorter distances after processing higher relative fluency than after processing expected fluency. Obviously, these results need to be replicated in order to draw



stronger conclusions about the relation between fluency and distance perception. But the existing evidences in the domain of embodied perception (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Gallese, 2016; Proffitt & Linkenauger, 2013; Witt & Riley, 2014) as the ones in the domain of relative fluency (Wänke & Hansen, 2015; Westerman, 2008; Whittlesea, 2002) constitute a promising research area in the future.



## **3. DISCUSSION GÉNÉRALE**



### **3.1. Rappel des résultats et limites de nos études**

Cette thèse avait pour but d'apporter des éléments de compréhension nouveaux concernant le rôle des contraintes des actions sur la perception visuelle de l'espace, et plus particulièrement la perception des distances. Pour cela nous nous sommes intéressés dans une première étude aux contraintes environnementales des actions, ce qui nous a permis de montrer que les variations du coût énergétique générées par les dispositions des objets dans l'environnement modulent notre perception des distances allocentriques. Dans une deuxième étude ce sont les processus d'intégration sensorimotrice et leur rôle dans la perception de distances courtes qui étaient notre préoccupation. Notamment, nous avons montré que la répétition ou l'alternance d'un geste d'atteinte d'amplitude variable influence les évaluations des participants. Enfin, dans une troisième étude, nous avons tenté de comprendre en quoi la fluence, et plus précisément la fluence relative, pouvait expliquer les variations perceptives liées au coût des actions.

Si la première étude de cette thèse soulève des questions intéressantes sur le degré d'implication des contraintes environnementales dans la perception des distances, la seconde étude présente certaines limites que nous discuterons dans la suite de cette partie. Toutefois l'intérêt majeur de ce travail réside dans notre dernière étude faisant pour la première fois clairement le lien entre perception des distances et fluence métacognitive. Également, cette étude vient consacrer le cheminement qui a été le nôtre tout au long de cette thèse. En effet, si nous avons entamé ce travail dans une logique descriptive consistant à rapporter des effets des contraintes des actions pures sur la perception des distances (Article 1), notre désir d'explications nous a poussé à nous intéresser par la suite au processus d'intégration sensorimotrice d'une part, puis à la fluence relative d'autre part. Ainsi la notion de contraintes des actions a évolué d'un point de vue strictement fonctionnel, à savoir les limites physiques inhérentes au système corps-environnement, à un point de vue plus phénoménologique, à savoir le sentiment de facilité ou de difficulté généré par nos interactions avec ce même environnement (Article 3). Entre temps, notre travail sur l'intégration sensorimotrice (Article 2) traduit une volonté d'inscrire notre réflexion sur la perception des distances dans un cadre théorique particulier qui est celui de l'approche idéomotrice. Ainsi, si d'un premier abord le lien qui unit ces trois études

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

ne s'impose pas, il n'en demeure pas moins qu'elles sont reliées par l'idée que la perception, tout particulièrement la perception des distances, reflète l'expérience subjective d'un individu issue de son interaction, lors de l'exécution d'une tâche, avec un environnement particulier.

#### **3.1.1. L'utilisation d'un outil en tant que point de référence (Article 1)**

L'objectif de l'étude présentée dans le premier article était de questionner le rôle d'un outil utilisé en tant que point de référence lors de l'évaluation d'une distance allocentrique. Les participants devaient évaluer verbalement des distances allocentriques présentées dans leur axe de vision – et non pas des distances allocentriques présentées de manière frontale. L'outil en question était un chariot de bibliothèque qui était, selon la condition expérimentale, soit rempli de livres, soit vide. Son poids variait donc entre 12 kg et 170 kg environ. La cible était un cône de chantier orange positionné sur un tabouret. De manière à générer une intention d'action vis-à-vis du chariot, les participants avaient pour consigne de réaliser une première série d'évaluations, puis, après avoir effectivement poussé le chariot sur les distances évaluées, les participants pourraient réévaluer les distances en question. Les participants ne poussaient pas le chariot après leurs premières évaluations et ne réévaluaient pas non plus les distances. En plus du poids du chariot, nous avons fait varier la position du chariot qui était soit proche (3 ou 4 mètres) soit éloigné des participants (6 ou 7 mètres). La raison première de cette manipulation était de multiplier le nombre de distances et éviter un effet mnésique lié à la trop grande répétition de mêmes essais. Nous nous attendions à ce que les distances soient perçues plus grandes par les participants du groupe Chariot Plein que ceux du groupe Chariot Vide. En effet, si les actions suscitées par les dispositions de l'environnement ont un impact sur la perception des distances, il semblait probable que l'état du chariot, en tant qu'objet d'interaction potentiel, influence les évaluations des participants.

Les résultats de notre étude ont montré que les participants évaluaient effectivement les distances plus grandes dans le groupe Chariot Plein que dans le groupe Chariot Vide. Cependant, cette différence n'était présente que lorsque le chariot était proche. Lorsque le chariot était loin, la différence entre les évaluations des deux groupes n'était pas significative suggérant une limite spatiale au-delà de

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

laquelle l'effet des contraintes environnementales ne serait plus intégré à la perception. Cette interprétation faisait notamment écho aux résultats de Lessard, Linkenauger et Proffitt (2009) qui avaient montré que lorsqu'un fossé n'était plus franchissable, l'effet lié au coût généré par son franchissement disparaissait. Cependant, d'autres explications pourraient être avancées pour expliquer nos résultats.

Dans notre étude, les évaluations se faisaient de manière verbale sans contraintes temporelles. Ce type de mesure, qui est une mesure indirecte, présente des inconvénients. Comme l'ont souligné Durgin et ses collègues (Durgin et al., 2009; Durgin, DeWald, Lechich, Li, & Ontiveros, 2011), les évaluations verbales favorisent particulièrement l'emploi de stratégies cognitives compensatoires, traduisant des effets ou des biais de demande pouvant influencer les réponses des sujets. Ainsi, une des premières questions concernant ce type d'étude est celle de la fiabilité des évaluations verbales et leur pouvoir indicatif quant à la perception même que les participants ont des distances à évaluer. Certaines critiques nous ont été justement formulées par des experts lors d'une première soumission de l'article concernant la possible occlusion d'une partie des distances à évaluer lorsque le chariot était plein comparé à lorsqu'il était vide. Cependant, cette remarque, bien que pertinente, semble se heurter au fait que les différences d'évaluation étaient présentes uniquement lorsque le chariot était proche des participants (entre 3 et 4 m) plutôt que lorsqu'il était loin (entre 6 et 7 m). Or, c'est justement dans la condition où le chariot était loin que la différence perceptive en termes d'occlusion était la plus importante. Si l'occlusion seule devait être responsable d'un tel effet sur les évaluations, alors nous aurions également dû retrouver ce le même effet, à savoir des évaluations plus grandes en condition Chariot Plein, sur les distances lointaines. Également, le fait de n'avoir constaté aucune corrélation entre la taille des participants – qui est directement impliquée dans la différence d'occlusion ente les participants – et leurs évaluations, semble indiquer que l'explication de l'effet ne se trouve pas nécessairement de ce côté-là.

Une autre limite à la fiabilité de nos résultats, comme nous venons de l'indiquer, concerne les biais de demande et la tendance des participants à se conformer aux attentes du chercheur. Cependant, cette critique est surtout valable pour les manipulations intra-sujets où le participants sont exposés à toutes les conditions expérimentales et peuvent deviner les intentions du chercheur. Dans la mesure où la

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

manipulation expérimentale se faisait de manière inter-sujets, il est également peu probable que les participants aient anticipé notre hypothèse et ce soient conformés en fournissant des évaluations plus grandes dans le groupe Chariot Plein que dans le groupe Chariot Vide. Et à nouveau, si un tel effet avait été présent, nous aurions dû le retrouver lorsque le chariot était loin des participants.

Selon nous, un des manques de notre étude réside dans l'absence d'une situation où les participants auraient à évaluer des distances avec un objet lourd non déplaçable comme point de référence (un bloc de béton, par exemple). En effet, une des ambitions de cette étude était d'étendre les résultats de Fini, Brass et Committeri (2015), montrant qu'utiliser une tierce personne libre de se déplacer comme point de référence influence la perception des distances allocentriques. Dans leur étude, les auteurs ne retrouvaient pas cette influence lorsque le point de référence était un objet, ou une personne attachée incapable du moindre mouvement. Ainsi, en utilisant un objet déplaçable par l'action, nous souhaitions montrer que l'effet pouvait être répliqué avec un point de référence non humain, étendant, au sens littéral du terme, l'influence des contraintes dans l'espace. Ainsi, un point de référence non-déplaçable aurait permis de nous prononcer de manière moins précautionneuse sur le rôle joué par l'anticipation du coût de l'action vis-à-vis du chariot.

Afin de contrer ce type de critiques et confirmer l'idée selon laquelle c'est bien le type d'action offerte par le chariot qui serait responsable de nos résultats, nous avons débuté récemment la réplique de cette étude dans un environnement virtuel (ce travail s'inscrit dans le cadre du mémoire de recherche de Vincent Murday). Les premiers résultats semblent effectivement indiquer que l'effet que nous avons imputé au poids du chariot est à nouveau présent lorsque le chariot est proche des participants, mais qu'il tend à disparaître à mesure que le chariot s'éloigne. Bien que les mesures se faisaient également de manière verbale – mais avec une limite temporelle pour favoriser la spontanéité des évaluations –, la cohérence des premiers résultats semble abonder dans notre sens. De plus l'intégration d'un objet non déplaçable d'un poids équivalent au chariot (170 kg resteront toujours plus simple à manipuler dans un environnement virtuel que dans le monde réel !) permettra également de trancher quant à un effet lié l'action même de déplacer le chariot. Si jamais les résultats étaient similaires entre le chariot et l'objet non déplaçable, alors notre interprétation ne serait pas la bonne et devrait faire l'objet d'un repositionnement théorique.



#### **3.1.2. Le rôle de l'intégration sensorimotrice dans la perception des distances (Article 2)**

Les deux études présentées dans notre second article portaient sur le rôle de l'intégration sensorimotrice dans la perception des distances. Notre objectif était de comprendre en quoi un tel processus pouvait être responsable de variations perceptives liées aux contraintes des actions. Bien que l'idée d'une intégration multimodale ait été mis en avant pour rendre compte des effets liés à l'action dans la perception des distances (Campos et al., 2012, 2014; White, Shockley, & Riley, 2013), notre souhait était de spécifiquement mettre en évidence ce processus sur des distances d'interaction courte et de l'étendre à des modalités auditive et visuelle. Pour cela nous avons utilisé dans la première étude un protocole expérimental permettant de mettre en évidence le processus d'intégration sensorimotrice par la réactivation d'un événement sensorimoteur grâce à la présentation d'une des modalités composant l'événement en question (Brunel et al., 2009; Camus et al., 2016; Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008; Versace et al., 2014). L'événement sensorimoteur que nous avons utilisé était composé d'une distance visuelle représentée par un point projetée sur une table, ainsi que par un son. Les résultats de cette première étude ont montré qu'après une phase d'apprentissage, les participants évaluaient des distances plus grandes après avoir été amorcés par un son précédemment associé à une distance longue qu'après avoir été amorcés par un son associé à une distance courte. Ce résultat n'était pas généralisé à toutes les distances, au contraire, il concernait uniquement les distances les plus courtes. L'aspect positif de ce résultat résidait dans le fait que les temps de réponse présentaient également un effet de l'amorce auditive sur les évaluations de distances. En effet, nous avons observé un effet d'interaction entre le type de distance à évaluer et l'amorce présentée. Lorsque les participants devaient évaluer les distances les plus courtes, un effet d'interférence semblait apparaître après avoir été amorcé par le son associé aux longues distances. Cet effet s'atténuait à mesure que les distances à évaluer augmentaient. En revanche, après avoir été amorcés par le son associé aux distances courtes, les participants ne présentaient aucune différence en termes de temps de réponse selon les distances à évaluer. Bien que nos hypothèse prévoyaient 1/ un impact de l'amorce auditive sur les évaluations des distances, et ce, sur l'ensemble des distances et 2/ une interaction plus

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

forte sur les temps de réponse rendant compte d'un effet d'interférence dès lors que l'amorce auditive était incompatible avec la distance à évaluer, la présence d'un effet lié à l'amorce sur les courtes distances semblait malgré tout indiquer que les dimensions visuelles et motrices de la phase d'apprentissage étaient réactivées. Dès lors, se posait la question de savoir qui des modalités visuelle ou motrice étaient responsables des biais observés dans les évaluations.

C'est ce que nous avons cherché à savoir dans la seconde étude. L'enjeu était de dissocier la réponse motrice de la distance visuelle de manière à isoler l'impact que l'une ou l'autre pourrait avoir sur les évaluations de distances. Pour cela nous avons utilisé un nouveau paradigme expérimental utilisant la création d'associations ponctuelles essais par essais (Trial-by-trial, en anglais ; Zmigrod, Spapé, & Hommel, 2009). Les deux variables manipulées étaient la répétition ou l'alternance de la modalité visuelle (i.e., la distance projetée) et la répétition ou l'alternance de la modalité motrice (i.e., le geste d'atteinte). A nouveau les seules distances dont les évaluations étaient influencées par notre manipulation expérimentale étaient les distances courtes. Les participants évaluaient les distances courtes (par un geste moteur de faible amplitude) plus courtes lorsqu'ils devaient répéter un geste moteur de faible amplitude plutôt que lorsqu'ils alternaient entre un geste de grande amplitude et geste de faible amplitude. La répétition ou l'alternance de la modalité visuelle n'avait aucune incidence sur les évaluations, remettant ainsi en question le fait que les modalités visuelles et motrices puissent avoir été intégrées au sein d'un même événement. Cependant, étant donné qu'un effet principal de la modalité visuelle était présent sur les réponses lors de la première phase des essais, il semble plus probable que l'influence de la dimension visuelle lors des évaluations ait été masquée par celle de la dimension motrice (Campos et al., 2012, 2014). Si cette interprétation devait être la bonne, à savoir que la tâche à laquelle étaient soumis les participants ne permettait pas d'observer l'influence de la modalité visuelle, alors les résultats de la première expérience seraient dus à la réactivation du geste moteur réalisé dans la phase d'apprentissage plutôt que celle de la modalité visuelle de la distance.

Évidemment, la possibilité que ces effets soient dus à des effets de réponse ne peut être exclue. En effet, l'une des difficultés rencontrées dans cette étude a été celle de la mise en place de protocoles expérimentaux fiables et rigoureux. Que ce soit d'un point de vue technique comme théorique, le défi lié à l'étude de la perception des

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

distances est celui de questionner un processus intouchable par le biais de mesures indirectes<sup>13</sup>. Ce point de difficulté fait d'ailleurs l'objet de nombreux débats, comme nous l'avons vu dans la partie 1.3.2., et porte justement sur la nature des effets rapportés dans les études sur le rôle des contraintes des actions – et de la motricité de manière générale – dans la perception visuelle (Durgin et al., 2009, 2011; Firestone, 2013; King, Tenhundfeld, & Witt, 2017; Kirsch et al., 2016; Philbeck & Witt, 2015; Woods, Philbeck, & Danoff, 2009). Dans notre cas, l'option que nous avons choisie afin de rendre compte des effets des variables manipulées sur la dimension perceptive de l'activité des participants a été celle de l'évaluation de distances par comparaison lors d'un geste d'atteinte. Son principal défaut réside certainement dans le fait que le geste d'atteinte serve à la fois à caractériser le mode d'interaction une distance ainsi qu'à évaluer les distances. Ce double emploi du geste moteur peut donc être considéré comme une variable confondue.

Cependant, malgré son caractère imparfait, cette méthode d'évaluation trouve son inspiration dans des protocoles expérimentaux tels que ceux utilisés par Witt, Proffitt et Epstein (2005) ainsi que par Morgado et ses collègues (Morgado, Gentaz, et al., 2013; Osiurak, Morgado, & Palluel-Germain, 2012). Dans ce type de protocole, les participants doivent ajuster la position d'une ou plusieurs cibles de manière à reproduire la distance à évaluer. Cette reproduction réalisée à l'aide d'un simple clavier se fait soit sur une distance allocentrique chez Witt, soit sur une distance égocentrique dont l'axe a été dévié de 45° par rapport à la distance initiale chez Morgado. Évidemment, l'objectif de ces études n'est pas tant de mesurer la capacité des participants à évaluer précisément une distance, mais bien de quantifier les différences d'évaluation selon les conditions expérimentales auxquelles ils sont soumis.

Ainsi, notre décision, à partir de cette seconde étude sur l'intégration sensorimotrice, a été de procéder également par comparaison, tout en utilisant cependant un geste d'atteinte. L'objectif était double puisque les évaluations se faisaient sur le même axe que la distance perçue d'une part, et impliquaient un geste moteur plus direct d'autre part. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, l'un des arguments avancé par les détracteurs de l'approche de la perception spécifique

---

<sup>13</sup> Pour une revue des différentes méthodes envisagées pour contourner ce problème, nous renvoyons le lecteur vers le travail de thèse de Nicolas Morgado (2015) et particulièrement vers la partie Discussion générale.

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

aux actions est celui de l'existence de biais cognitifs compensatoires dans le processus d'évaluation (Durgin et al., 2009, 2011). Le risque pour l'expérimentateur que les participants intègrent dans leurs jugements des stratégies cognitives varie notamment en fonction du temps imparti aux participants pour réaliser leurs évaluations. Reproduire une distance par la réalisation d'un geste moteur d'amplitude variable, et ce de manière spontanée, constituerait ainsi une mesure moins sensible à des stratégies cognitives compensatoires. De plus, des mesures similaires ont été utilisées pour mesurer la capacités des individus à évaluer leur espace péripersonnel (Bourgeois & Coello, 2012; Bourgeois, Farnè, & Coello, 2014), et ont montré que les gestes d'atteintes traduisaient de manière fiable les variations perceptives causées par des manipulations expérimentales. Nous nous sommes donc appuyés sur ces arguments expérimentaux et théoriques pour mettre en place un système de comparaison par geste d'atteinte. Le dispositif lui-même a évolué, comme nous l'indiquons dans l'Article 2, puisque nous sommes passés d'une échelle discrète en 8 points à une échelle tactile (en apparence) continue (l'échelle ne comportait aucune limite visuelle perceptible par les participants).

Enfin, les résultats de notre seconde étude semble surtout cohérents avec ceux de Kirsch et Kunde (2013) ayant montré que les évaluations de distances dans l'espace proche étaient influencées par l'amplitude des gestes d'atteinte futurs. Dans leur étude, les participants recevaient avant chaque évaluation une indication concernant l'amplitude du geste qu'ils devraient réaliser après leur évaluation. Ainsi, ils avaient pour consigne de reproduire soit 50% soit 150% de la distance évaluer après leur évaluation. Les résultats montraient que les évaluations étaient influencées par l'anticipation du geste ultérieur. Dans la condition 150%, les participants évaluaient la position de la cible plus loin que dans la condition 50%. Cependant, ces résultats étaient observés uniquement lorsque les instructions changeaient d'un essai à l'autre, et non plus lorsqu'ils étaient répétés, suggérant une forme d'accoutumance au coût de l'action anticipée. Dans notre expérience nous avons également observé un effet de la répétition ou de l'alternance, mais en l'état, nous sommes incapables d'affirmer si c'est sa répétition ou son alternance qui a biaisé les jugements des participants. Nous avons simplement constaté un effet différentiel entre les deux conditions. De plus, c'est l'amplitude d'un geste passé qui influençait les évaluations des participants et non pas celle d'un geste futur. Cela dit, les participants ne pouvaient être influencés

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

par les mouvements futurs dans la mesure où ils ignoraient la nature des essais suivants. Il serait tout de même intéressant de vérifier si un effet lié à l'enchaînement des essais similaires existe dans notre étude – un effet du type carry-over effect of compatibility (Zhang, Sun, & Humphreys, 2016) montrant que les effets liés à la compatibilité sensorimotrice lors de tâches de catégorisation est d'autant plus marqué lorsque les essais de même compatibilité se suivent plutôt que lorsqu'ils alternent. Cependant le nombre d'essais par distance et par condition ne nous permet pas de telles comparaisons et nécessiterait la réalisation d'une nouvelle expérience.

Rappelons tout de même que dans l'expérience de Kirsch et Kunde (2013), les évaluations de distance étaient réalisées comme dans l'étude de Witt Proffitt et Epstein (2005), à savoir par l'ajustement d'une distance allocentrique censée représentée la distance à évaluer. Ceci vient malheureusement renforcer le potentiel effet de réponse observé dans notre expérience, nous poussant à améliorer la qualité de nos protocoles expérimentaux lors de nos futures expériences. De plus, l'apport théorique de cette seconde étude demeure marginal au regard des objectifs, qui étaient de mettre en évidence le rôle des modalités visuelle et auditive par le biais du processus d'intégration sensorimotrice sur la perception de courtes distances. Néanmoins, le mérite de cette seconde étude aura au moins été de nous mettre sur la voie de la fluence métacognitive et de son rôle potentiel dans l'évaluation des distances.

#### **3.1.3. Le rôle de la fluence dans la perception des distances (Article 3)**

Dans le troisième article de cette thèse nous nous sommes intéressés au concept de fluence, et plus particulièrement au concept de fluence relative, et avons tenté de mettre en évidence ses potentielles implications dans les variations perceptives liées aux effets des contraintes des actions. Il n'aura pas échappé au lecteur attentif que nous avons évoqué tout au long de ce travail le concept de fluence de deux manières différentes : soit en le nommant par le simple mot fluence, soit en lui enjoignant l'adjectif métacognitive. Le fait est que d'un point de vue sémantique, cette seconde manière pourrait être considérée comme un pléonasme dans la mesure où la fluence est par nature métacognitive. Cependant, notre choix a été dicté par le désir d'écarter toute confusion possible concernant la compréhension de ce concept, qui, si l'on se

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

réfère à la littérature associée au mot fluence, renvoie de manière majoritaire à la fluence linguistique – fluence verbale ou fluence de lecture<sup>14</sup>. En insistant sur l’aspect métacognitif de la fluence, nous souhaitons souligner son caractère généraliste, à savoir le fait que le sentiment de facilité ou de difficulté perçu par les individus – et que nous qualifions de fluence – n’est en rien spécifique à une activité particulière, comme nous avons pu le voir tout au long de ce travail. Enfin, ce choix était également dicté par la définition même du mot que l’on retrouve dans la langue anglaise où fluency se traduit par aisance ou facilité, et même dans la langue française qui définit la fluence comme une « manière de parler facile, style plein d'aisance » (définition tirée du dictionnaire en ligne Larousse). Il apparaît donc que le mot fluence désigne deux choses différentes selon le champ d’utilisation dans lequel nous nous trouvons. Et c’est bien pour cette raison que nous avons fait le choix de nommer le concept de fluence par le terme fluence métacognitive.

Concernant notre troisième étude, donc, nous avons cherché à mettre en relation les nombreux travaux sur la perception des distances et ceux portant sur la fluence et de la fluence relative. L’objectif était d’estimer si un lien causal pouvait exister entre ces deux entités (voire un lien bidirectionnel, mais nous n’avons pas testé cette hypothèse) et si, par voie de conséquence, ce lien pourrait expliquer les effets du coût généré par les contraintes des actions sur la perception de notre environnement. La première expérience avait pour but de valider un protocole expérimental générateur de fluence relative. Nous rappelons que la fluence relative correspond au différentiel de fluence entre l’attente de fluence absolue et la fluence absolue effective (Wänke & Hansen, 2015). Bien que la fluence absolue joue un rôle important dans les jugements que nous formulons sur les objets du monde, la fluence relative aurait une importance supérieure (Westerman, 2008; B. W. A. Whittlesea, 2002a). Nous manipulons donc dans notre protocole deux types de fluence absolue : la fluence conceptuelle (i.e., la compatibilité d’un mot avec une phrase lue précédemment) et la fluence motrice (le côté de réponse, Ipsilatéral vs. Contralatéral). La tâche des participants était de

---

<sup>14</sup> Nous nous permettons un petit aparté sociétal pour souligner qu’actuellement, une des questions concernant l’écriture inclusive porte justement sur la menace qu’une telle technique constituerait envers la fluence linguistique. L’apport des recherches sur la fluence relative pourrait probablement être d’un grand secours aux défenseurs d’une telle technique, en montrant notamment qu’une fois la surprise passée vis-à-vis de cette nouvelle forme d’écriture, la fluence linguistique reviendrait à son état initial. Ceci n’est qu’une hypothèse !

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

catégoriser la couleur de mots compatibles ou incompatibles. Les temps de réponses ont révélé un effet de compatibilité entre la fluence conceptuelle absolue et la fluence motrice absolue, révélant un niveau de fluence relative différent selon les combinaisons des deux fluences absolues. L'objectif dans la seconde expérience était donc de tester l'influence de l'émergence de fluence relative sur des évaluations de distances. À nouveau nous avons utilisé un dispositif de réponse impliquant des évaluations de distances par comparaison et par geste d'atteinte. La différence avec l'étude précédente était que le geste d'atteinte ne servait qu'à évaluer les distances, minimisant ainsi les biais inhérents à notre deuxième étude.

Ainsi, dans cette seconde expérience, la tâche de catégorisation de couleur était suivie d'une évaluation de la distance à laquelle le mot apparaissait. Les mots apparaissaient soit proche, soit à une distance moyenne, soit loin. Les résultats ont révélé des effets de nos manipulations expérimentales uniquement sur les plus longues distances, ce qui paraît surprenant au regard des résultats de notre seconde étude où seules les évaluations sur les courtes distances montraient des effets liés à nos manipulations. Cependant le pattern des évaluations sur les distances moyennes était similaire à celui sur les plus longues distances, mais les intervalles de confiance étant bien plus grands sur les distances moyennes, la différence statistique n'avait que peu chance d'être présente. Aussi, nous pouvons supposer que l'influence de l'amplitude motrice sur des gestes d'atteinte est supérieure à celle de la fluence relative générée par une combinaison de fluence conceptuelle et motrice. Un des enjeux futurs sera clairement d'étendre ce genre de résultats à plusieurs types de distances, et surtout, par le biais de différentes mesures. La méthode de comparaison par distances allocentriques utilisée par Witt, Proffitt et Epstein (2005) ainsi que par Kirsch et Kunde (2013) nous semble être une solution adéquate.

Concernant les résultats obtenus sur les distances les plus longues, nous avons observé que les participants évaluaient les distances plus courtes après un geste contralatéral – considéré comme non-fluent – plutôt que ipsilatéral – considéré comme fluent (Casasanto, 2009; Casasanto & Chrysikou, 2011; Milhau et al., 2015) – , et ce, uniquement lorsque le mot était compatible. Lorsqu'il était incompatible, aucune différence d'évaluation n'était observée. Cette absence de différence pour les mots incompatibles semble écarter la possibilité que les différences d'évaluation observées aient été causées par un effet biomécanique différentiel entre le fait de réaliser un geste d'atteinte initié depuis l'espace controlatéral et le fait d'initier le



### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

même geste depuis l'espace ipsilatéral. En effet, si un tel effet de réponse avait été à l'œuvre, la différence d'évaluation aurait été retrouvée à la fois sur les mots compatibles et incompatibles. Il semblerait donc que ce soit bien la manipulation de la fluence conceptuelle absolue en relation avec la fluence motrice absolue qui ait causé les différences d'évaluation. De plus, le fait que les distances aient été perçues plus courtes en condition d'incompatibilité (i.e., mot compatible et geste non fluent) plutôt que de compatibilité (i.e., mot compatible et geste fluent) semble indiquer que la fluence relative ait généré un sentiment de proximité plus important que la fluence attendue.

Pour appuyer une telle interprétation, nous nous basons sur les travaux montrant que les individus ont tendance à attribuer inconsciemment leur sentiment de fluence aux stimuli qu'ils jugent, et que cette attribution serait consciemment perçue par les individus comme un sentiment de familiarité (Whittlesea & Williams, 2000, 1998 ; pour une revue, voir aussi Alter & Oppenheimer, 2009). Ainsi, notre proposition est de transférer l'idée d'une proximité conceptuelle à celle d'une proximité physique. Si un sentiment de familiarité est perçue par un individu à l'égard d'un stimulus, la probabilité que ce stimulus soit perçue proche sera plus grande que si le stimulus en question est perçue comme neutre. Telle est la logique de notre proposition. Dans une moindre mesure, Alter et Oppenheimer (2008) ont montré que les distances psychologiques ou abstraites (i.e., l'idée que les individus se font des distances entre deux villes) étaient perçues plus grandes lorsque les questions à propos de ces distances étaient présentées dans un questionnaire difficilement déchiffrable plutôt que facile à lire. Ainsi, lorsque le coût généré par la lecture du questionnaire provoquait un sentiment d'inconfort, les participants jugeaient les distances plus grandes, suggérant un effet classique d'attribution de la part des participants. Encore une fois, notre propos est de montrer que cet effet, qui agit sur une dimension conceptuelle, peut tout à fait être transféré sur une dimension concrète, à savoir les distances physiques.

Évidemment, les résultats de cette troisième étude ne sauraient se suffire à eux-mêmes et appellent clairement à des répliques sur un nombre plus importants de participants dans un premier temps, et à une extension à de nouvelles méthodologies dans un deuxième temps. Nous pensons notamment à la possibilité de générer de la fluence relative lors de tâches a priori coûteuses telles que le déplacement d'objets



lourds mais qui s'avèrerait plus facilement réalisable que la situation ne le laisserait penser. Par exemple il serait possible de jouer sur le déplacement de contenants – comme une bouteille par exemple – dont le contenu pourrait être masqué aux participants, de manière à créer des attentes de fluence incompatible avec la fluence effective. Ce type de manipulation permettrait de tester directement si la fluence, ou la fluence relative, générée par un effort physique spécifique peut influencer la perception d'une distance, sans pour autant que cette distance ne soit en relation avec l'effort physique en question.

## **3.2. Cheminement théorique et perspectives**

Arrivé à ce stade de lecture du document, l'ambition théorique de ce travail de recherche peut sembler en inadéquation avec les différents travaux présentés. En effet, notre proposition selon laquelle la fluence constituerait une source d'information essentielle dans l'intégration des contraintes des actions dans la perception des distances n'a reçu comme argument expérimental que l'ultime expérience de ce travail de thèse. Cependant, il convient de rappeler que cette proposition ne se base pas tant sur les résultats que nous avons présentés que sur la littérature portant sur le rôle des contraintes des actions dans la perception des distances ainsi que sur celle portant sur les phénomènes relatifs à la fluence. Ainsi, nous demandons aux lecteurs·rices d'appréhender cette dernière étude comme l'aboutissement d'un raisonnement plutôt que comme une preuve sur laquelle cette idée repose. Il est évident que les effets de la fluence relative sur les évaluations de distances que nous avons rapportés ne peuvent constituer à eux seuls un argument scientifique suffisamment fort pour justifier notre proposition. Toutefois, il nous semble que la cohérence entre notre proposition et ces résultats nous permet de ne pas écarter une telle hypothèse. Ce à quoi nous allons nous employer à présent et détailler un peu plus ce cheminement.

Avant tout, il nous semble important de revenir sur la disparité des études présentées dans ce travail. Bien que les trois études portent sur la perception des distances, les méthodologiques utilisées et le type de distances étudiées présentent de nombreuses différences. Comme nous l'avons souligné au début de cette partie

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

Discussion, cette disparité représente le cheminement qui a été le nôtre durant cette thèse, et met en lumière notre volonté de faire évoluer notre travail depuis une logique descriptive vers une logique davantage explicative. Également, dans un souci d'originalité, nous avons tenté, peut-être à tort, d'aborder cette thématique sous un aspect peu exploré. Ainsi, après avoir abordé la question des distances allocentriques dans une première étude et rapporté un effet des contraintes environnementales des actions liées à la nature/qualité/état du point de référence (i.e., est-ce que le chariot était plein ou vide), nous nous sommes intéressés dans une seconde étude au processus d'intégration sensorimotrice et à son implication dans l'évaluation de distances courtes. La question de l'intégration sensorimotrice nous est apparue particulièrement pertinente en tant que modèle théorique décrivant le processus de construction de nos connaissances (Versace et al., 2014; Zmigrod et al., 2009). De plus, bien que le concept de simulation motrice ait souvent été avancé pour expliquer les effets perceptifs liés aux contraintes des actions (Coello & Delevoeye-Turrell, 2007; Gallese, 2016; Grade, Pesenti, & Edwards, 2015; Morgado & Palluel-Germain, 2015; Witt & Proffitt, 2008b; Wolpert & Flanagan, 2001), l'idée qu'une forme d'intégration des différents éléments sensorimoteurs soit impliquée dans la perception des distances n'est absolument pas remise en cause, au contraire.

La proposition de Witt et Riley (2014), consistant à réconcilier l'approche écologique de Gibson (1979) et l'action-specific perception account (Witt, 2011) afin de réhabiliter l'idée d'une perception directe, se base notamment sur une idée similaire à celle de l'intégration des différentes modalités entre elles. En effet, l'un des arguments expérimentaux utilisé par Witt et Riley (2014) provient de l'étude réalisée par White, Shockley et Riley (2013). Cette étude s'intéressait aux effets de la dépense énergétique multimodale – Multimodal Specified Energy Expenditure (MSEE), en anglais – sur la perception des distances. Les auteurs ont montré que les évaluations de distances<sup>15</sup> réalisées par les participants dépendaient à la fois du flux optique – manipulée grâce à un dispositif de réalité virtuelle – et de la quantité d'oxygène consommée pour parcourir une distance. Bien que les auteurs de cette étude n'emploient à aucun moment le terme d'intégration multisensorielle, leur travail repose sur l'idée que nous serions sensibles à un type d'information cross-modale qui capture les relations entre les informations proprioceptives et interoceptives et les

---

<sup>15</sup> Pour évaluer les distances, les participants devaient reproduire par la marche la distance dont ils venaient de faire l'expérience. Les auteurs parlent de action-based distance judgments.

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

informations visuelles. Les auteurs proposent d'ailleurs un rapport – en tant qu'hypothèse sur les distances évaluées par les participants – entre le niveau d'oxygène et le flux optique. Dès lors, ce rapport implique nécessairement une intégration de ces différentes informations en une seule variable informative (Stoffregen & Bardy, 2001). Cette étude fait d'ailleurs écho à celles de Campos et ses collègues (2012, 2014) ayant montré que les informations visuelles et celles provenant du corps (body-based information, en anglais) étaient intégrées ensemble et avaient un poids différents, lors d'une évaluation de distance, selon le type de déplacement effectués par les participants.

Toutefois, notre volonté était de tester le processus d'intégration sensorimotrice à travers une méthodologie spécifique aux travaux portant sur le processus d'intégration. Plus précisément, nous souhaitions mettre en évidence non pas l'implication de différentes modalités lors de l'évaluation de distances précédemment parcourues, mais bien le principe de réactivation d'un événement sensorimoteur, lui-même composé d'éléments provenant de différentes modalités, et son influence sur la perception de distances. En y parvenant, de manière franche et moins confuse que ce que ne le laissent penser nos résultats, nous aurions montré que la perception visuelle de l'espace dépend non seulement des éléments présents – tels, par exemple, que les informations visuelles couplées aux informations motrices – mais également des éléments passés précédemment associés à des situations similaires avec la situation présente. L'une des propositions de Proffitt (Bhalla & Proffitt, 1999) est d'ailleurs éloquente de proximité avec cette idée. Son argument est de dire que le système visuel aurait évolué de manière à développer une sensibilité aux co-variations entre les contraintes des actions et les propriétés de l'environnement pertinentes pour la réalisation d'une action donnée. Par exemple, l'effort nécessaire pour gravir une colline (i.e., une contrainte physique) augmente habituellement à mesure que la pente de cette colline augmente (i.e., une propriété de l'environnement). Apprendre et anticiper de manière systématique ce type de co-variations entraînerait donc les individus à percevoir une colline plus pentue à mesure que l'effort pour la gravir augmente. Ainsi, à la lecture de cet argument, il semble étonnant que Proffitt ne se soit pas davantage tourné vers la théorie idéomotrice pour expliquer l'existence des effets des actions sur la perception. De manière tout à fait compréhensible, son choix a été de documenter de la façon la plus large possible – nous ne parlerons pas d'exhaustivité car c'est une utopie inatteignable, mais sa contribution dans ce

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

domaine, ainsi que celle de ses collègues, a et continue d'être extrêmement importante – les effets des actions sur la perception.

Quoi qu'il en soit, les résultats de notre étude et les limites techniques auxquelles nous nous sommes confronté ne nous ont pas permis d'aller aussi loin dans nos conclusions. Cependant, le fait d'avoir mis en évidence l'influence de l'amplitude des gestes d'atteinte dans l'évaluation des distances nous aura permis de réorienter nos recherches vers le concept de fluence. En effet, bien que nous n'ayons observé aucune influence de la dimension visuelle dans notre étude, les résultats semblent bien indiquer que quelque chose a été réactivée au moment de l'évaluation de certaines distances. S'il s'agit bien de la dimension motrice, comme le laisse penser la seconde expérience, la question de savoir ce qui est réellement réactivait reste entière. Est-ce une commande motrice contaminant la réalisation du geste en cours, comme le laisserait penser les modèles internes (Coello & Delevoye-Turrell, 2007; Wolpert & Flanagan, 2001) ? Ou bien est-ce une information proprioceptive renseignant sur la position du bras lors d'une situation passée similaire ? Notre décision pour répondre à ce questionnement a donc été de nous tourner vers le concept de fluence, et sur cette idée d'un signal métacognitif renseignant sur la qualité de nos interactions avec notre environnement.

Avant de poursuivre, il convient de préciser que l'idée de faire le lien entre fluence et perception des distances n'a pas découlé exclusivement des résultats de notre seconde étude. En effet, il n'aura pas échappé aux lecteurs·trices curieux·euses que le thème de la fluence a déjà fait l'objet de plusieurs publications par certains membres de l'équipe DynaCSE du Laboratoire Epsilon (e.g., D. Brouillet, Milhau, Brouillet, & Servajean, 2017; T. Brouillet, Ferrier, Grosselin, & Brouillet, 2011; Milhau, Brouillet, & Brouillet, 2013; Milhau et al., 2015) – tout comme le thème de l'intégration sensorimotrice d'ailleurs (e.g., Brunel et al., 2009; Camus et al., 2016; Camus, Hommel, Brunel, & Brouillet, 2017). Ainsi, les résultats de la seconde étude ont davantage agi comme un déclencheur sur les intentions de recherches latentes qui étaient les nôtres que comme le point zéro d'une nouvelle réflexion.

Le but de la troisième étude était donc d'apporter des éléments de preuve concernant la responsabilité de la fluence dans l'intégration du coût des actions dans

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

la perception des distances. Au vu de nos résultats, nous pouvons dire que nous avons apporté des éléments permettant de prendre cette possibilité en considération. Ce qui constitue en soi un point de départ non négligeable. En effet, l'objectif de notre démarche s'inscrit bien au-delà de notre troisième étude mettant en évidence l'impact de la fluence relative dans l'évaluation de distances courtes. Notre souhait est de montrer en quoi la proposition de Witt et Riley (2014) devrait intégrer cette notion de fluence pour rendre compte des effets spécifiques à l'action sur la perception. De plus, leur proposition nous paraît particulièrement intéressante dans la mesure où elle constitue une tentative pour réhabiliter la notion de perception directe (Gibson, 1979), à savoir une perception ne faisant appel à aucun processus inférentiel intermédiaire (Shapiro, 2010). Comme l'avait avancé Gibson, Witt et Riley proposent que l'ensemble des informations nécessaires à la perception et à la bonne compréhension de l'environnement se trouve déjà dans le flux d'informations auquel le(s) système(s) perceptif(s) est (sont) sensible(s). La différence avec Gibson est que ce flux d'informations ne serait pas composé uniquement du flux optique ambiant – un flux d'énergie unique (single-energy array, en anglais) constitué de la lumière réfléchiée par les différentes surfaces de l'environnement – mais bien par un champ global d'ordre supérieur (higher-order array, en anglais) comprenant l'ensemble des informations auxquelles l'organisme est sensible. Nous ajouterions : y compris la dimension phénoménologique (i.e., la fluence métacognitive). Dès lors, pour maintenir cette idée d'une perception directe, il conviendra de mettre en lumière la chose capable d'une telle prouesse.

La réponse d'une approche computationnelle serait évidemment de proposer un système dévolu à l'intégration de toutes les modalités entre elles, ou bien à la traduction des informations de modalités diverses (sensations visuelles, sensations tactiles, sensations auditives, mais aussi sensations proprioceptives, sensations somesthésiques ou interoceptives, ou encore sensations kinesthésiques) en informations, symboles, ou représentations de (a)modalité unique. Nous pensons qu'une telle proposition serait dangereuse en tant qu'approche désunifiée de l'expérience humaine, tout autant qu'en tant que confusion sur la nature même du système cognitivo-perceptif. Notre proposition aurait davantage tendance à garder intacte l'idée d'une expérience globale, sans découpage des différentes modalités auxquelles l'organisme est sensible, mais plutôt en prenant l'idée de coordination, voire de synchronisation, de l'ensemble de ces modalités comme outil de

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

compréhension du monde. Nous ne faisons ici que répéter ce que des approches telles que l'énaction ont déjà énoncé, à savoir que la conscience que nous avons du monde ne serait que la traduction phénoménologique d'un couplage sensorimoteur entre un organisme et son environnement (Lenay, 2006; O'Regan & Noë, 2001; Rosch, Thompson, & Varela, 1991). La proposition que nous formulons, et qui doit davantage être comprise comme une perspective de recherche que comme une conclusion à nos travaux expérimentaux, est que la fluence serait à envisager comme une modalité perceptive – au même titre que la vision ou l'audition – résultant d'une activité de synchronisation globale comprenant l'ensemble des informations auquel l'organisme est sensible. Ainsi, de la même manière que le système auditif, en tant que système sensible aux vibrations, renseigne l'organisme sur l'état du monde en termes de fréquence sonores, la fluence renseignerait l'organisme sur son propre état en termes d'adaptation sensorimotrice à son environnement. Et c'est justement cette capacité à renseigner l'organisme sur son propre état qui confère à la fluence ce statut d'information métacognitive.

Nous ne prétendons pas qu'une telle formulation représente une avancée significative d'un point de vue explicatif à la question de l'influence des contraintes des actions sur la perception. Simplement, elle pourrait être une nouvelle piste par laquelle abordée les liens entre perception et action afin de caractériser la manière dont ces deux entités interagissent. Selon nous, si l'objectif de la recherche en psychologie cognitive sur la perception des distances est, entre autre, de trancher sur la nature des effets observés – c'est à dire de déterminer s'il s'agit réellement d'effets perceptifs ou d'effets post-perceptifs liés aux modalités de réponse – c'est bien sur l'expérience perceptive globale en tant qu'adaptation, plutôt que sur la tentative de capture d'un instantané censé refléter la perception d'un individu à un moment isolé dans le temps, qu'il faudra se concentrer (Shapiro, 2010). En effet, si l'on considère que le découpage des sensations ne peut expliquer l'expérience perceptive dans son ensemble (pour une approche philosophique de la question, voir Dewey, 1896), alors seule l'approche de l'expérience en tant qu'adaptation spatio-temporelle aux contraintes situationnelles devrait retenir l'attention des chercheurs. Le fait de considérer la fluence comme une sorte de flux continu rendant compte du niveau d'adaptation de l'organisme à son milieu devrait permettre d'appréhender cette même fluence comme un élément clé pour comprendre les dynamiques en jeu dans la

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

perception des distances. En ce sens, les études menées récemment par King, Tenhundfeld et Witt (2017) ainsi que par Kirsch, Ullrich et Kunde (2016) nous semble constituer de bonnes pistes d'expérimentation de par le degré d'adaptation sensorimotrices à une tâche spécifique qu'elles mettent en jeu. Dans ces études, c'est bien la capacité – manipulée – des sujets à s'adapter en continu à la tâche proposée – et traduisant une expérience plus globale que la simple réaction à un stimulus isolé – qui est prédictive de leurs évaluations. En généralisant ce type de méthodologies et en gardant à l'esprit que la perception reste une capacité d'adaptation à notre environnement parmi tant d'autres, les résultats obtenus en laboratoire ne cesseront de gagner en validité vis-à-vis de la seule dimension importante de l'activité humaine, à savoir la dimension écologique.

#### **3.3. Conclusion générale**

L'objectif de cette thèse était d'étudier l'influence des contraintes des actions sur la perception des distances. Plus particulièrement, il s'agissait de mettre en évidence les mécanismes par lesquels le coût énergétique des actions est intégré dans le processus perceptif. Les données empiriques présentées dans ce travail, et particulièrement celles de notre troisième et dernière étude, semblent indiquer que le concept de fluence, et plus spécifiquement celui de fluence relative, pourrait offrir une piste de compréhension concernant les liens d'influence existant entre les contraintes des actions et la perception des distances. Ici le concept de fluence fait référence à un signal métacognitif ayant pour fonction de renseigner l'organisme sur la qualité de ses interactions avec son environnement (Alter & Oppenheimer, 2009). Celui de fluence relative, correspond à l'écart perçu par l'organisme entre les attentes de fluence lié à l'anticipation des conséquences des actions et la fluence effective générée par les interactions du sujet dans son environnement (Westerman, 2008; Whittlesea, 2002a).

Ce que nous avons montré est un effet de cette fluence relative sur l'évaluation de distances courtes. Plus précisément, lorsque la fluence relative était élevée, les participants évaluaient certaines distances plus proches que lorsque la fluence perçue par les participants était conforme à leurs attentes. L'explication d'un tel phénomène pourrait trouver son origine dans un processus d'attribution inconsciente consistant à attribuer aux objets du monde un sentiment de facilité ou de difficulté perçu lors

### 3. DISCUSSION GÉNÉRALE

d'une interaction sensorimotrice avec l'environnement. La conséquence de cette attribution dans notre étude serait un sentiment de proximité physique plus important vis-à-vis des distances à évaluer. De plus, l'idée que la perception subjective de fluence ou de non-fluence conduirait à la conscience des objets du monde nous semble proche de ce que James (1890) appelait « Fringe of Consciousness » : un sentiment diffus qui fournit un contexte interprétatif (voir Brouillet, 2017)

L'ambition de notre travail, en considérant nos résultats expérimentaux mais également les éléments théoriques apportés tout au long de ce document, était de proposer la fluence comme un type d'information capable de renseigner l'organisme sur les variations du coût des actions auquel il est régulièrement soumis. Cette proposition s'inscrit dans la démarche initiée par Witt et Riley (2014) de ramener l'idée d'une perception directe sur le devant de la scène, en tentant, par là même, de réconcilier l'approche écologique de la perception visuelle (Gibson, 1979) avec celle de l'action-specific perception account (Witt, 2011). Ainsi, nous aimons à penser que ce travail constitue simplement une première étape vers des recherches futures prenant grand soin de ne pas reléguer la dimension phénoménologique de l'expérience humaine à l'état d'un simple épiphénomène.







## 4. BIBLIOGRAPHIE

- Adolph, K. E. (2008). Learning to Move. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 213-218. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00577.x>
- Alter, A. L., & Oppenheimer, D. M. (2008). Effects of fluency on psychological distance and mental construal (or why New York is a large city, but New York is a civilized jungle). *Psychological Science*, 19(2), 161–167.
- Alter, A. L., & Oppenheimer, D. M. (2009). Uniting the Tribes of Fluency to Form a Metacognitive Nation. *Personality and Social Psychology Review*, 13(3), 219-235. <https://doi.org/10.1177/1088868309341564>
- Alter, A. L., Oppenheimer, D. M., Epley, N., & Eyre, R. N. (2007). Overcoming intuition: Metacognitive difficulty activates analytic reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 569-576. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.4.569>
- Badets, A., Koch, I., & Philipp, A. M. (2016). A review of ideomotor approaches to perception, cognition, action, and language: Advancing a cultural recycling hypothesis. *Psychological Research*, 80(1), 1-15.
- Badets, A., & Rensonnet, C. (2015). Une approche idéomotrice de la cognition. *L'Année psychologique*, 1–28.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617-645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Begg, I. M., Anas, A., & Farinacci, S. (1992). Dissociation of processes in belief: Source recollection, statement familiarity, and the illusion of truth. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(4), 446.
- Beilock, S. L., & Holt, L. E. (2007). Embodied preference judgments: Can likeability be driven by the motor system? *Psychological Science*, 18(1), 51–57.
- Bergen, B., & Wheeler, K. (2010). Grammatical aspect and mental simulation. *Brain and Language*, 112(3), 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.07.002>
- Berti, A., & Frassinetti, F. (2000). When far becomes near: Remapping of space by tool use. *Journal of cognitive neuroscience*, 12(3), 415–420.
- Bestler, M., Schandry, R., Weitkunat, R., & Alt, E. (1990). Kardiodynamische Determinanten der Herzwahrnehmung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*.
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual-motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076-1096. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1076>
- Bloesch, E. K., Davoli, C. C., Roth, N., Brockmole, J. R., & Abrams, R. A. (2012). Watch this! Observed tool use affects perceived distance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(2), 177- 183. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0200-z>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

Bornstein, R. F., & D'Agostino, P. R. (1994). The attribution and discounting of perceptual fluency: Preliminary tests of a perceptual fluency/attributional model of the mere exposure effect. *Social Cognition*, 12(2), 103-128.

Bourgeois, J. (2012). Représentations motrices et perception de l'espace péripersonnel.pdf. Université Lille Nord de France.

Bourgeois, J., & Coello, Y. (2012). Effect of visuomotor calibration and uncertainty on the perception of peripersonal space. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(6), 1268-1283. <https://doi.org/10.3758/s13414-012-0316-x>

Bourgeois, J., Farnè, A., & Coello, Y. (2014). Costs and benefits of tool-use on the perception of reachable space. *Acta Psychologica*, 148, 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.008>

Brockmole, J. R., Davoli, C. C., Abrams, R. A., & Witt, J. K. (2013). The World Within Reach: Effects of Hand Posture and Tool Use on Visual Cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 22(1), 38-44. <https://doi.org/10.1177/0963721412465065>

Brooks, R. A. (1991). Intelligence without representation. *Artificial intelligence*, 47(1-3), 139-159.

Brouillet, D. (2017). Les franges de conscience : mémoire, fluence et attribution. In *Conscience et Droit*. Paris, Mare et Martin, Collection Sciences cognitives et droit.

Brouillet, D., Milhau, A., & Brouillet, T. (2015). When “good” is not always right: effect of the consequences of motor action on valence-space associations. *Frontiers in psychology*, 6.

Brouillet, D., Milhau, A., Brouillet, T., & Servajean, P. (2017). Effect of an unrelated fluent action on word recognition: A case of motor discrepancy. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(3), 894-900. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1160-0>

Brouillet, D., Vagnot, C., Milhau, A., Brunel, L., Briglia, J., Versace, R., & Rousset, S. (2015). Sensory-motor properties of past actions bias memory in a recognition task. *Psychological Research*, 79(4), 678-686. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0600-6>

Brouillet, T., Ferrier, L. P., Grosselin, A., & Brouillet, D. (2011). Action compatibility effects are hedonically marked and have incidental consequences on affective judgment. *Emotion*, 11(5), 1202-1205. <https://doi.org/10.1037/a0024742>

Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: Sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1081-1088. <https://doi.org/10.1037/a0015537>

Cameron, O. G. (2002). *Visceral sensory neuroscience: interoception*. Oxford: Oxford Univ. Press.

Campos, J. L., Butler, J. S., & Bühlhoff, H. H. (2012). Multisensory integration in the estimation of walked distances. *Experimental Brain Research*, 218(4), 551-565. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3048-1>

Campos, J. L., Butler, J. S., & Bühlhoff, H. H. (2014). Contributions of visual and proprioceptive information to travelled distance estimation during changing sensory

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

congruencies. *Experimental Brain Research*, 232(10), 3277-3289. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4011-0>

Camus, T., Brouillet, D., & Brunel, L. (2016). Assessing the functional role of motor response during the integration process. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(11), 1693-1702. <https://doi.org/10.1037/xhp0000237>

Camus, T., Hommel, B., Brunel, L., & Brouillet, T. (2017). From anticipation to integration: the role of integrated action-effects in building sensorimotor contingencies. *Psychonomic Bulletin & Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1308-6>

Cañal-Bruland, R., Pijpers, J., & Oudejans, R. R. (2010). The influence of anxiety on action-specific perception. *Anxiety, Stress, & Coping*, 23(3), 353-361.

Cañal-Bruland, R., & van der Kamp, J. (2009). Action goals influence action-specific perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(6), 1100-1105. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.6.1100>

Cañal-Bruland, R., Zhu, F. F., der Kamp, J. van, & Masters, R. S. W. (2011). Target-directed visual attention is a prerequisite for action-specific perception. *Acta Psychologica*, 136(3), 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.12.001>

Cannon, P. R., Hayes, A. E., & Tipper, S. P. (2010). Sensorimotor fluency influences affect: Evidence from electromyography. *Cognition & Emotion*, 24(4), 681-691. <https://doi.org/10.1080/02699930902927698>

Cardellicchio, P., Sinigaglia, C., & Costantini, M. (2013). Grasping affordances with the other's hand: A TMS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(4), 455-459. <https://doi.org/10.1093/scan/nss017>

Cardinali, L., Frassinetti, F., Brozzoli, C., Urquizar, C., Roy, A. C., & Farnè, A. (2009). Tool-use induces morphological updating of the body schema. *Current Biology*, 19(12), R478-R479.

Casasanto, D. (2009). Embodiment of abstract concepts: Good and bad in right- and left-handers. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(3), 351-367. <https://doi.org/10.1037/a0015854>

Casasanto, D., & Chrysikou, E. G. (2011). When left is "right" motor fluency shapes abstract concepts. *Psychological Science*, 22(4), 419-422.

Casasanto, D., & Henetz, T. (2012). Handedness shapes children's abstract concepts. *Cognitive Science*, 36(2), 359-372.

Casasanto, D., & Jasmin, K. (2010). Good and bad in the hands of politicians: Spontaneous gestures during positive and negative speech. *Plos one*, 5(7), e11805.

Chambon, V., & Haggard, P. (2012). Sense of control depends on fluency of action selection, not motor performance. *Cognition*, 125(3), 441-451. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.07.011>

Chambon, V., Sidarus, N., & Haggard, P. (2014). From action intentions to action effects: how does the sense of agency come about? *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00320>

Chemero, A. (2009). Radical embodied cognition.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Coello, Y., & Delevoye-Turrell, Y. (2007). Embodiment, spatial categorisation and action. *Consciousness and Cognition*, 16(3), 667-683. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.07.003>
- Cohen, R. G., Biddle, J. C., & Rosenbaum, D. A. (2010). Manual obstacle avoidance takes into account visual uncertainty, motor noise, and biomechanical costs. *Experimental brain research*, 201(3), 587-592.
- Cole, S., & Balciotis, E. (2013). Sources of resources: Bioenergetic and psychoenergetic resources influence distance perception. *Social Cognition*, 31(6), 721-732.
- Costantini, M., Ambrosini, E., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). When objects are close to me: Affordances in the peripersonal space. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 302-308. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0054-4>
- Costantini, M., Ambrosini, E., Tieri, G., Sinigaglia, C., & Committeri, G. (2010). Where does an object trigger an action? An investigation about affordances in space. *Experimental Brain Research*, 207(1-2), 95-103. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2435-8>
- Costantini, M., Committeri, G., & Sinigaglia, C. (2011). Ready Both to Your and to My Hands: Mapping the Action Space of Others. *PLoS ONE*, 6(4), e17923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017923>
- Craig, A. D. (2002). Opinion: How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(8), 655.
- Cutting, J. E., & Vishton, P. (1995). Potency, and contextual use of different information about depth. *Perception of space and motion*, 69.
- de la Fuente, J., Casasanto, D., & Santiago, J. (2015). Observed actions affect body-specific associations between space and valence. *Acta psychologica*, 156, 32-36.
- Decety, J. (1993). Analysis of actual and mental movement times in graphic tasks. *Acta Psychologica*, 82, 367-372.
- Decety, J. (1996). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cognitive Brain Research*, 3, 87-93.
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behavioral Brain Research*, 72, 127-134.
- Dechêne, A., Stahl, C., Hansen, J., & Wänke, M. (2009). Mix me a list: Context moderates the truth effect and the mere-exposure effect. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(5), 1117-1122.
- Declerck, G. (2013). Why motor simulation cannot explain affordance perception. *Adaptive Behavior*, 21(4), 286-298. <https://doi.org/10.1177/1059712313488424>
- Dewey, J. (1896). The reflex arc concept in psychology. *Psychological review*, 3(4), 357.
- Dru, V., & Cretenet, J. (2008). Influence of unilateral motor behaviors on the judgment of valenced stimuli. *Cortex*, 44(6), 717-727. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2006.11.004>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Durgin, F. H., Baird, J. A., Greenburg, M., Russell, R., Shaughnessy, K., & Waymouth, S. (2009). Who is being deceived? The experimental demands of wearing a backpack. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(5), 964-969. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.964>
- Durgin, F. H., DeWald, D., Lechich, S., Li, Z., & Ontiveros, Z. (2011). Action and motivation: Measuring perception or strategies? *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(6), 1077-1082. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0164-z>
- Durgin, F. H., Klein, B., Spiegel, A., Strawser, C. J., & Williams, M. (2012). The social psychology of perception experiments: Hills, backpacks, glucose, and the problem of generalizability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(6), 1582.
- Elsner, B., & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 229-240. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.229>
- Eves, F. F., Thorpe, S. K. S., Lewis, A., & Taylor-Covill, G. A. H. (2014). Does perceived steepness deter stair climbing when an alternative is available? *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 637-644. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0535-8>
- Fajen, B. R. (2005). Perceiving possibilities for action: On the necessity of calibration and perceptual learning for the visual guidance of action. *Perception*, 34(6), 717-740. <https://doi.org/10.1068/p5405>
- Farnè, A., & Làdavas, E. (2000). Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use. *Neuroreport*, 11(8), 1645-1649.
- Fini, C., Bardi, L., Troje, N. F., Committeri, G., & Brass, M. (2017). Priming biological motion changes extrapersonal space categorization. *Acta Psychologica*, 172, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.11.006>
- Fini, C., Brass, M., & Committeri, G. (2015). Social scaling of extrapersonal space: Target objects are judged as closer when the reference frame is a human agent with available movement potentialities. *Cognition*, 134, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.08.014>
- Firestone, C. (2013). How “paternalistic” is spatial perception? Why wearing a heavy backpack doesn’t—and couldn’t—make hills look steeper. *Perspectives on Psychological Science*, 8(4), 455-473.
- Firestone, C., & Scholl, B. J. (2016). Cognition does not affect perception: Evaluating the evidence for “top-down” effects. *Behavioral and Brain Sciences*, 39. <https://doi.org/10.1017/S0140525X15000965>
- Fisk, J. D., & Goodale, M. A. (1985). The organization of eye and limb movements during unrestricted reaching to targets in contralateral and ipsilateral visual space. *Experimental brain research*, 60(1), 159-178.
- Flusberg, S. J., & Boroditsky, L. (2011). Are things that are hard to physically move also hard to imagine moving? *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 158-164. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0024-2>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Freddi, S., Brouillet, T., Cretenet, J., Heurley, L. P., & Dru, V. (2016). A continuous mapping between space and valence with left- and right-handers. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(3), 865-870. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0950-0>
- Galati, G., Lobel, E., Vallar, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., & Le Bihan, D. (2000). The neural basis of egocentric and allocentric coding of space in humans: a functional magnetic resonance study. *Experimental Brain Research*, 133(2), 156-164. <https://doi.org/10.1007/s002210000375>
- Gallese, V. (2000). The inner sense of action. Agency and motor representations. *Journal of Consciousness studies*, 7(10), 23-40.
- Gallese, V. (2016). The Multimodal Nature of Visual Perception: Facts and Speculations. *Gestalt Theory*, 38(2/3).
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in cognitive sciences*, 2(12), 493-501.
- Gamberini, L., Seraglia, B., & Priftis, K. (2008). Processing of peripersonal and extrapersonal space using tools: Evidence from visual line bisection in real and virtual environments. *Neuropsychologia*, 46(5), 1298-1304. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.016>
- Gibson, J., J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston:
- Goldman, R. (2005). *Reading ads socially*. Routledge.
- Grade, S., Pesenti, M., & Edwards, M. G. (2015). Evidence for the embodiment of space perception: concurrent hand but not arm action moderates reachability and egocentric distance perception. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00862>
- Gray, R. (2013). Being selective at the plate: Processing dependence between perceptual variables relates to hitting goals and performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(4), 1124-1142. <https://doi.org/10.1037/a0030729>
- Greenwald, A. G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: with special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological review*, 77(2), 73.
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and brain sciences*, 27(3), 377-396.
- Haggard, P., & Jundi, S. (2009). Rubber Hand Illusions and Size-Weight Illusions: Self-Representation Modulates Representation of External Objects. *Perception*, 38(12), 1796-1803. <https://doi.org/10.1068/p6399>
- Hansen, J., & Wänke, M. (2008). It's the difference that counts: Expectancy/experience discrepancy moderates the use of ease of retrieval in attitude judgments. *Social Cognition*, 26(4), 447-468.
- Harleß, E. (1861). Der apparat des willens. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 38(1861), 50-73.
- Hayes, A. E., Paul, M. A., Beuger, B., & Tipper, S. P. (2008). Self produced and observed actions influence emotion: the roles of action fluency and eye gaze. *Psychological Research*, 72(4), 461-472. <https://doi.org/10.1007/s00426-007-0125-3>



#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Herskowitz, I. H. (1977). *Principles of genetics*. New York, NY: Macmillan.
- Hommel, B. (1998). Event Files: Evidence for Automatic Integration of Stimulus-Response Episodes. *Visual Cognition*, 5(1-2), 183-216. <https://doi.org/10.1080/713756773>
- Hommel, B. (2009). Action control according to TEC (theory of event coding). *Psychological Research Psychologische Forschung*, 73(4), 512-526. <https://doi.org/10.1007/s00426-009-0234-2>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). Codes and their vicissitudes. *Behavioral and brain sciences*, 24(05), 910-926.
- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1994). Attention to within-object and between-object spatial representations: Multiple sites for visual selection. *Cognitive Neuropsychology*, 11(2), 207-241. <https://doi.org/10.1080/02643299408251974>
- Hutchison, J. J., & Loomis, J. M. (2006). Does Energy Expenditure Affect the Perception of Egocentric Distance? A Failure to Replicate Experiment 1 of Proffitt, Stefanucci, Banton, and Epstein (2003)/Reply to Hutchison and Loomis/Reply to Proffitt, Stefanucci, Banton, and Epstein/A Final Reply to Hutchison and Loomis. *The Spanish journal of psychology*, 9(2), 332.
- Iachini, T., Ruotolo, F., Vinciguerra, M., & Ruggiero, G. (2017). Manipulating time and space: Collision prediction in peripersonal and extrapersonal space. *Cognition*, 166, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.03.024>
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Cognitive Neuroscience & Neuropsychology*, 7(14), 2325-2330.
- Jackson, R. E., & Cormack, L. K. (2007). Evolved navigation theory and the descent illusion. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 69(3), 353-362.
- Jackson, R. E., & Willey, C. R. (2011). Evolved navigation theory and horizontal visual illusions. *Cognition*, 119(2), 288-294. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.11.003>
- Jacoby, L. L., & Whitehouse, K. (1989). An illusion of memory: False recognition influenced by unconscious perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(2), 126-135.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. Read Books Ltd.
- Jeannerod, M. (2001). Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103-S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current opinion in neurobiology*, 9(6), 735-739.
- Johnson-Frey, S. H. (2004). The neural bases of complex tool use in humans. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.002>
- Karnath, H. O., Schenkel, P., & Fischer, B. (1991). Trunk orientation as the determining factor of the 'contralateral' deficit in the neglect syndrome and as the physical anchor of the internal representation of body orientation in space. *Brain*, 114(4), 1997-2014.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Khalsa, S. S., Rudrauf, D., Feinstein, J. S., & Tranel, D. (2009). The pathways of interoceptive awareness. *Nature Neuroscience*, 12(12), 1494-1496. <https://doi.org/10.1038/nn.2411>
- King, Z. R., Tenhundfeld, N. L., & Witt, J. K. (2017). What you see and what you are told: an action-specific effect that is unaffected by explicit feedback. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0848-8>
- Kirsch, W., Herbort, O., Butz, M. V., & Kunde, W. (2012). Influence of Motor Planning on Distance Perception within the Peripersonal Space. *PLoS ONE*, 7(4), e34880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034880>
- Kirsch, W., & Kunde, W. (2013). Visual near space is scaled to parameters of current action plans. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(5), 1313-1325. <https://doi.org/10.1037/a0031074>
- Kirsch, W., Ullrich, B., & Kunde, W. (2016). Are Effects of Action on Perception Real? Evidence from Transformed Movements. *PLOS ONE*, 11(12), e0167993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167993>
- Klatzky, R. L. (1998). Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In *Spatial cognition* (p. 1–17). Springer. Consulté à l'adresse [http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-69342-4\\_1](http://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-69342-4_1)
- Kronlund, A., & Whittlesea, B. W. A. (2006). Remembering after a perception of discrepancy: Out with the old, in with the two. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(5), 1174-1184. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.5.1174>
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(2), 387.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, 129(1), 108-111. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.04.010>
- Lee, D. N. (1978). The functions of vision. *Modes of perceiving and processing information*, 159-170.
- Lenay, C. (2006). Enaction, externalisme et suppléance perceptive. *Intellectica*, 43, 27–52.
- Lessard, D. A., Linkenauger, S. A., & Proffitt, D. R. (2009). Look before you leap: Jumping ability affects distance perception. *Perception*, 38(12), 1863-1866. <https://doi.org/10.1068/p6509>
- Loftus, G. R., & Masson, M. E. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic bulletin & review*, 1(4), 476-490.
- Longo, M. R., & Lourenco, S. F. (2007). Space perception and body morphology: extent of near space scales with arm length. *Experimental Brain Research*, 177(2), 285-290. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0855-x>
- Lotze, R. (1852). *Medical Psychology, or, Physiology of the Soul*. Weidmann, Leipzig.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Lourenco, S. F., & Longo, M. R. (2009). The plasticity of near space: Evidence for contraction. *Cognition*, 112(3), 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.05.011>
- Lourenco, S. F., Longo, M. R., & Pathman, T. (2011). Near space and its relation to claustrophobic fear. *Cognition*, 119(3), 448-453.
- Macramalla, S., & Bridgeman, B. (2009). Anticipated Effort in Imagined Self-Rotation. *Perception*, 38(1), 79-91. <https://doi.org/10.1068/p5905>
- Mahon, B. Z. (2015). The burden of embodied cognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 69(2), 172-178. <https://doi.org/10.1037/cep0000060>
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational approach*.
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). Cooperative Computation of Stereo Disparity. In *From the Retina to the Neocortex: Selected Papers of David Marr* (Vol. 194, p. 283-287). Consulté à l'adresse <http://www.jstor.org/stable/pdf/1742216.pdf>
- McGlone, M. S., & Tofighbakhsh, J. (2000). Birds of a feather flock conjointly (?): Rhyme as reason in aphorisms. *Psychological Science*, 11(5), 424-428.
- Milhau, A., Brouillet, T., & Brouillet, D. (2013). Biases in evaluation of neutral words due to motor compatibility effect. *Acta Psychologica*, 144(2), 243-249. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.06.008>
- Milhau, A., Brouillet, T., & Brouillet, D. (2015). Valence-space compatibility effects depend on situated motor fluency in both right- and left-handers. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(5), 887-899. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.967256>
- Milhau, A., Brouillet, T., Dru, V., Coello, Y., & Brouillet, D. (2017). Valence activates motor fluency simulation and biases perceptual judgment. *Psychological Research*, 81(4), 795-805. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0788-8>
- Montgomery, W. A., & Jones, G. E. (1984). Laterality, emotionality, and heartbeat perception. *Psychophysiology*, 21(4), 459-465.
- Morgado, N. (2014). *L'influence des contraintes physiques et sociales des actions sur la perception visuelle de l'espace*. Université de Grenoble, Grenoble.
- Morgado, N., Gentaz, É., Guinet, É., Osiurak, F., & Palluel-Germain, R. (2013). Within reach but not so reachable: Obstacles matter in visual perception of distances. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 462-467. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0358-z>
- Morgado, N., Muller, D., Pinelli, M., Guinet, E., Gentaz, E., & Palluel-Germain, R. (2013). Does friendship influence space perception? with particular reference to the curse of the suspicious participants. In *Proceedings of the 35th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Morgado, N., & Palluel-Germain, R. (2015). How actions constrain the visual perception of space.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Mossio, M., & Taraborelli, D. (2008). Action-dependent perceptual invariants: From ecological to sensorimotor approaches. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1324-1340. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.12.003>
- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., & Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of neurophysiology*, 78(4), 2226–2230.
- Ooi, T. L., Wu, B., & He, Z. J. (2001). Distance determined by the angular declination below the horizon. *Nature*, 414(6860), 197–200.
- Oppenheimer, D. M. (2006). Consequences of erudite vernacular utilized irrespective of necessity: Problems with using long words needlessly. *Applied Cognitive Psychology*, 20(2), 139-156.
- O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and brain sciences*, 24(5), 939-973.
- Osiurak, F., Morgado, N., & Palluel-Germain, R. (2012). Tool use and perceived distance: when unreachable becomes spontaneously reachable. *Experimental Brain Research*, 218(2), 331-339. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3036-5>
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 709.
- Patla, A., & Rietdyk, S. (1993). Visual control of limb trajectory over obstacles during locomotion: effect of obstacle height and width. *Gait & Posture*, 1(1), 45-60.
- Pezzulo, G., Barsalou, L. W., Cangelosi, A., Fischer, M. H., McRae, K., & Spivey, M. J. (2013). Computational Grounded Cognition: a new alliance between grounded cognition and computational modeling. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00612>
- Philbeck, J. W., & Witt, J. K. (2015). Action-specific influences on perception and postperceptual processes: Present controversies and future directions. *Psychological Bulletin*, 141(6), 1120-1144. <https://doi.org/10.1037/a0039738>
- Piaget, J. (1953). The origins of intelligence in children. *Journal of Consulting Psychology*, 17(6), 467.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European journal of cognitive psychology*, 9(2), 129–154.
- Proffitt, D. R. (2006). Embodied Perception and the Economy of Action. *Perspectives on Psychological Science*, 1(2), 110-122. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00008.x>
- Proffitt, D. R. (2013). An embodied approach to perception by what units are visual perceptions scaled? *Perspectives on Psychological Science*, 8(4), 474–483.
- Proffitt, D. R., Bhalla, M., Gossweiler, R., & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(4), 409-428.
- Proffitt, D. R., & Linkenauger, S. A. (2013). Perception viewed as a phenotypic expression. In *Action science: Foundations of an emerging discipline* (MIT Press, p. 171–198). Cambridge, MA: W. Prinz, M. Beisert, & A. Herwig.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Proffitt, D. R., Stefanucci, J., Banton, T., & Epstein, W. (2003). The role of effort in perceiving distance. *Psychological Science*, 14(2), 106-112. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01427>
- Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(7), 576.
- Rajaram, S. (1993). Remembering and knowing: Two means of access to the personal past. *Memory & Cognition*, 21(1), 89-102.
- Raos, V. (2005). Functional Properties of Grasping-Related Neurons in the Ventral Premotor Area F5 of the Macaque Monkey. *Journal of Neurophysiology*, 95(2), 709-729. <https://doi.org/10.1152/jn.00463.2005>
- Reber, R., & Schwarz, N. (1999). Effects of perceptual fluency on judgments of truth. *Consciousness and cognition*, 8(3), 338-342.
- Reber, R., Winkielman, P., & Schwarz, N. (1998). Effects of perceptual fluency on affective judgments. *Psychological science*, 9(1), 45-48.
- Rieser, J. J., Pick, H. L., Ashmead, D. H., & Garing, A. E. (1995). Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 480.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research*, 3(2), 131-141. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2000). Cortical mechanisms subserving object grasping and action recognition: A new view on the cortical motor functions. *The new cognitive sciences*, 2, 539-552.
- Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. *Journal of experimental psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 803.
- Rosch, E., Thompson, L., & Varela, F. J. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*.
- Samson, D., Apperly, I. A., Braithwaite, J. J., Andrews, B. J., & Bodley Scott, S. E. (2010). Seeing it their way: Evidence for rapid and involuntary computation of what other people see. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1255-1266. <https://doi.org/10.1037/a0018729>
- Schandry, R., & Bestler, M. (1995). *The association between parameters of cardiovascular function and heartbeat perception*. Peter Lang Publishing.
- Schnall, S., Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2010). Direct evidence for the economy of action: Glucose and the perception of geographical slant. *Perception*, 39(4), 464-482. <https://doi.org/10.1068/p6445>
- Schwartz, B. L., & Metcalfe, J. (1992). Cue familiarity but not target retrievability enhances feeling-of-knowing judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(5), 1074.
- Schwarz, N. (2004). Metacognitive experiences in consumer judgment and decision making. *Journal of Consumer Psychology*, 14(4), 332-348.



#### 4. BIBLIOGRAPHIE

Schwarz, N., Bless, H., Strack, F., Klumpp, G., Rittenauer-Schatka, H., & Simons, A. (1991). Ease of retrieval as information: Another look at the availability heuristic. *Journal of Personality and Social Psychology*, 61(2), 195.

Shapiro, L. (2010). *Embodied cognition*. Routledge.

Sherrington, C. (1906). Yale University Mrs. Hepsa Ely Silliman memorial lectures. *The integrative action of the nervous system*.

Shin, Y. K., Proctor, R. W., & Capaldi, E. J. (2010). A review of contemporary ideomotor theory. *Psychological Bulletin*, 136(6), 943-974. <https://doi.org/10.1037/a0020541>

Sidarus, N., Chambon, V., & Haggard, P. (2013). Priming of actions increases sense of control over unexpected outcomes. *Consciousness and Cognition*, 22(4), 1403-1411. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.09.008>

Simon, J. R., & Small Jr, A. (1969). Processing auditory information: Interference from an irrelevant cue. *Journal of Applied Psychology*, 53(5), 433.

Sinai, M. J., Ooi, T. L., & He, Z. J. (1998). Terrain influences the accurate judgement of distance. *Nature*, 395(6701), 497-500.

Sparrow, W. A., & Newell, K. M. (1998). Metabolic energy expenditure and the regulation of movement economy. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(2), 173-196.

Sparrow, W., & Newell, K. (1998). Metabolic energy expenditure and the regulation of movement economy. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(2), 173-196.

Stasencko, A., Garcea, F. E., & Mahon, B. Z. (2013). What happens to the motor theory of perception when the motor system is damaged? *Language and Cognition*, 5(2-3), 225-238. <https://doi.org/10.1515/langcog-2013-0016>

Stefanucci, J. K., & Geuss, M. N. (2009). Big People, Little World: The Body Influences Size Perception. *Perception*, 38(12), 1782-1795. <https://doi.org/10.1068/p6437>

Stefanucci, J. K., & Geuss, M. N. (2010). Duck! Scaling the height of a horizontal barrier to body height. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72(5), 1338-1349. <https://doi.org/10.3758/APP.72.5.1338>

Stefanucci, J. K., & Proffitt, D. R. (2009). The roles of altitude and fear in the perception of height. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 424-438. <https://doi.org/10.1037/a0013894>

Stefanucci, J. K., Proffitt, D. R., Banton, T., & Epstein, W. (2005). Distances appear different on hills. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 67(6), 1052-1060.

Stepper, S., & Strack, F. (1993). Proprioceptive determinants of emotional and nonemotional feelings. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(2), 211.

Stock, A., & Stock, C. (2004). A short history of ideo-motor action. *Psychological Research*, 68(2-3), 176-188. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0154-5>

Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(02), 195-213. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003946>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Sugovic, M., & Witt, J. K. (2013). An older view on distance perception: older adults perceive walkable extents as farther. *Experimental Brain Research*, 226(3), 383-391. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3447-y>
- Surtees, A. D. R., & Apperly, I. A. (2012). Egocentrism and Automatic Perspective Taking in Children and Adults: Egocentrism and Automatic Perspective Taking. *Child Development*, no-no. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01730.x>
- Taylor, J. E. T., Witt, J. K., & Sugovic, M. (2011). When Walls are No Longer Barriers: Perception of Wall Height in Parkour. *Perception*, 40(6), 757-760. <https://doi.org/10.1068/p6855>
- Taylor-Covill, G. A., & Eves, F. F. (2014). When what we need influences what we see: Choice of energetic replenishment is linked with perceived steepness. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(3), 915.
- Taylor-Covill, G. A. H., & Eves, F. F. (2013). Slant Perception for Stairs and Screens: Effects of Sex and Fatigue in a Laboratory Environment. *Perception*, 42(4), 459-469. <https://doi.org/10.1068/p7425>
- Topolinski, S., & Strack, F. (2009). Motormouth: Mere exposure depends on stimulus-specific motor simulations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(2), 423-433. <https://doi.org/10.1037/a0014504>
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 24(3), 830.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, 8(6), 769-800. <https://doi.org/10.1080/13506280042000144>
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive psychology*, 5(2), 207-232.
- Tversky, B., & Hard, B. M. (2009). Embodied and disembodied cognition: Spatial perspective-taking. *Cognition*, 110(1), 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.10.008>
- Vallar, G., Lobel, E., Galati, G., Berthoz, A., Pizzamiglio, L., & Le Bihan, D. (1999). A fronto-parietal system for computing the egocentric spatial frame of reference in humans. *Experimental Brain Research*, 124(3), 281-286.
- van der Hoort, B., & Ehrsson, H. H. (2014). Body ownership affects visual perception of object size by rescaling the visual representation of external space. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(5), 1414-1428. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0664-9>
- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The Size of One's Own Body Determines the Perceived Size of the World. *PLoS ONE*, 6(5), e20195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020195>
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit: sciences cognitives et expérience humaine*. Editions du Seuil.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Varnava, A., McCarthy, M., & Beaumont, J. G. (2002). Line bisection in normal adults: direction of attentional bias for near and far space. *Neuropsychologia*, 40(8), 1372–1378.
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280-306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Viglieno, E. (2013). *Changement catégoriel et transition de phase : les catégories perceptives comme des attracteurs*. Université Paul Valéry, Montpellier III, Montpellier.
- Wagman, J. B., & Taylor, K. R. (2005). Perceiving Affordances for Aperture Crossing for the Person-Plus-Object System. *Ecological Psychology*, 17(2), 105-130. [https://doi.org/10.1207/s15326969eco1702\\_3](https://doi.org/10.1207/s15326969eco1702_3)
- Wallace, P. S., & Whishaw, I. Q. (2003). Independent digit movements and precision grip patterns in 1–5-month-old human infants: hand-babbling, including vacuous then self-directed hand and digit movements, precedes targeted reaching. *Neuropsychologia*, 41(14), 1912-1918. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00128-3](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00128-3)
- Wänke, M., & Hansen, J. (2015). Relative processing fluency. *Current Directions in Psychological Science*, 24(3), 195-199.
- Warren, W. H. (1984). Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 683-703. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.10.5.683>
- Warren, W. H. (2006). The dynamics of perception and action. *Psychological Review*, 113(2), 358-389. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.113.2.358>
- Warren, W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: Body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 371-383. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.13.3.371>
- Westerman, D. L. (2008). Relative fluency and illusions of recognition memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(6), 1196-1200. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.6.1196>
- Westerman, D. L., Lloyd, M. E., & Miller, J. K. (2002). The attribution of perceptual fluency in recognition memory: The role of expectation. *Journal of Memory and Language*, 47(4), 607-617.
- White, E., Shockley, K., & Riley, M. A. (2013). Multimodally specified energy expenditure and action-based distance judgments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(6), 1371-1377. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0462-8>
- Whittlesea, B. W. (1993). Illusions of familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1235.
- Whittlesea, B. W. (1997). Production, evaluation, and preservation of experiences: Constructive processing in remembering and performance tasks.



#### 4. BIBLIOGRAPHIE

Whittlesea, B. W. A. (2002a). False memory and the discrepancy-attribution hypothesis: The prototype-familiarity illusion. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1), 96-115. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.131.1.96>

Whittlesea, B. W. A. (2002b). Two routes to remembering (and another to remembering not). *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(3), 325-348. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.131.3.325>

Whittlesea, B. W. A., & Williams, L. D. (2000). The source of feelings of familiarity: The discrepancy-attribution hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(3), 547-565. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.26.3.547>

Whittlesea, B. W. A., & Williams, L. D. (2001b). The discrepancy-attribution hypothesis: II. Expectation, uncertainty, surprise, and feelings of familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(1), 14-33. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.27.1.14>

Whittlesea, B. W., & Williams, L. D. (1998). Why do strangers feel familiar, but friends don't? A discrepancy-attribution account of feelings of familiarity. *Acta psychologica*, 98(2), 141-165.

Whittlesea, B. W., & Williams, L. D. (2001a). The discrepancy-attribution hypothesis: I. The heuristic basis of feelings and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(1), 3.

Williamson, J., McColl, R., Mathews, D., Mitchell, J., Raven, P., & Morgan, W. (2001). Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: cardiovascular responses and brain activation. *Journal of Applied Physiology*, 90(4), 1392-1399.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636. <https://doi.org/10.3758/BF03196322>

Winkielman, P., & Cacioppo, J. T. (2001). Mind at ease puts a smile on the face: Psychophysiological evidence that processing facilitation elicits positive affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 81(6), 989-1000. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.81.6.989>

Winkielman, P., Halberstadt, J., Fazendeiro, T., & Catty, S. (2006). Prototypes are attractive because they are easy on the mind. *Psychological science*, 17(9), 799-806.

Witt, J. K. (2011). Action's Effect on Perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 201-206. <https://doi.org/10.1177/0963721411408770>

Witt, J. K. (2017). Action potential influences spatial perception: Evidence for genuine top-down effects on perception. *Psychonomic bulletin & review*, 24(4), 999-1021.

Witt, J. K., & Dorsch, T. E. (2009). Kicking to bigger uprights: Field goal kicking performance influences perceived size. *Perception*, 38(9), 1328-1340. <https://doi.org/10.1068/p6325>

Witt, J. K., Kemmerer, D., Linkenauger, S. A., & Culham, J. (2010). A Functional Role for Motor Simulation in Identifying Tools. *Psychological Science*, 21(9), 1215-1219. <https://doi.org/10.1177/0956797610378307>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., Bakdash, J. Z., & Proffitt, D. R. (2008). putting to a bigger hole: Golf performance relates to perceived size. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(3), 581-585. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.3.581>
- Witt, J. K., Linkenauger, S. A., & Wickens, C. (2016). Action-specific effects in perception and their potential applications. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(1), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.07.008>
- Witt, J. K., & Proffitt, D. R. (2005). See the Ball, Hit the Ball: Apparent Ball Size Is Correlated With Batting Average. *Psychological Science*, 16(12), 937-938. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01640.x>
- Witt, J. K., & Proffitt, D. R. (2008). Action-specific influences on distance perception: A role for motor simulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(6), 1479-1492. <https://doi.org/10.1037/a0010781>
- Witt, J. K., Proffitt, D. R., & Epstein, W. (2004). Perceiving distance: A role of effort and intent. *Perception*, 33(5), 577-590. <https://doi.org/10.1068/p5090>
- Witt, J. K., Proffitt, D. R., & Epstein, W. (2005). Tool Use Affects Perceived Distance, But Only When You Intend to Use It. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(5), 880-888. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.5.880>
- Witt, J. K., Proffitt, D. R., & Epstein, W. (2010). When and how are spatial perceptions scaled? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1153-1160. <https://doi.org/10.1037/a0019947>
- Witt, J. K., & Riley, M. A. (2014). Discovering your inner Gibson: Reconciling action-specific and ecological approaches to perception–action. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(6), 1353-1370. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0623-4>
- Witt, J. K., Schuck, D. M., & Taylor, J. E. T. (2011). Action-specific effects underwater. *Perception*, 40(5), 530-537. <https://doi.org/10.1068/p6910>
- Witt, J. K., & Sugovic, M. (2010). Performance and Ease Influence Perceived Speed. *Perception*, 39(10), 1341-1353. <https://doi.org/10.1068/p6699>
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729-R732. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(01\)00432-8](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(01)00432-8)
- Wolpert, D. M., Ghahramani, Z., & Jordan, M. I. (1995). An internal model for sensorimotor integration. *Science*, 1880–1882.
- Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural networks*, 11(7), 1317–1329.
- Woods, A. J., Philbeck, J. W., & Danoff, J. V. (2009). The various perceptions of distance: An alternative view of how effort affects distance judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1104-1117. <https://doi.org/10.1037/a0013622>
- Yang, S.-J., Gallo, D. A., & Beilock, S. L. (2009). Embodied memory judgments: A case of motor fluency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(5), 1359-1365. <https://doi.org/10.1037/a0016547>

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

Zadra, J. R., Weltman, A. L., & Proffitt, D. R. (2016). Walkable distances are bioenergetically scaled. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(1), 39-51. <https://doi.org/10.1037/xhp0000107>

Zadra, J., Schnall, S., Weltman, A. L., & Proffitt, D. (2010). Direct Physiological Evidence for an Economy of Action: Bioenergetics and the Perception of Spatial Layout. *Journal of Vision*, 10(7), 54-54. <https://doi.org/10.1167/10.7.54>

Zhang, Z., Sun, Y., & Humphreys, G. W. (2016). Perceiving object affordances through visual and linguistic pathways: A comparative study. *Scientific reports*, 6, 26806.

Zmigrod, S., & Hommel, B. (2011). The relationship between feature binding and consciousness: Evidence from asynchronous multi-modal stimuli. *Consciousness and Cognition*, 20(3), 586-593. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.01.011>

Zmigrod, S., Spapé, M., & Hommel, B. (2009). Intermodal event files: integrating features across vision, audition, taction, and action. *Psychological Research Psychologische Forschung*, 73(5), 674-684. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0163-5>