



HAL
open science

Le rôle des effets perceptifs quantitatifs d'une action dans la construction de couplages perception-action

Ronan Guerineau

► **To cite this version:**

Ronan Guerineau. Le rôle des effets perceptifs quantitatifs d'une action dans la construction de couplages perception-action. Education. Université de Nanterre - Paris X, 2023. Français. NNT : 2023PA100005 . tel-04595090

HAL Id: tel-04595090

<https://theses.hal.science/tel-04595090v1>

Submitted on 30 May 2024

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.

Ronan GUERINEAU

**Le rôle des effets perceptifs
quantitatifs d'une action dans la
construction de couplages
perception-action**

Thèse présentée et soutenue publiquement le 04/01/2023
en vue de l'obtention du doctorat de Sciences et techniques des
activités physiques et sportives de l'Université Paris Nanterre
sous la direction de M. Vincent DRU (Université Paris Nanterre)
et de M. Loïc HEURLEY (codirecteur ; Université Paris Nanterre)

Jury :

Présidente :	Lucette TOUSSAINT	PU, Université de Poitiers
Directeur :	Vincent DRU	PU, Université Paris Nanterre
Co-Directeur :	Loïc HEURLEY	MCF, Université Paris Nanterre
Rapportrice :	Solène KALÉLINE	CR, Université de Lille
Rapporteur :	François OSIURAK	PU, Université Lumière Lyon 2
Examineur :	Denis BROUILLET	PU émérite, Université de Montpellier 3

Résumé

Percevoir des objets de grande taille (e.g., des pommes) faciliterait la réalisation de saisie de force, tandis que voir de petits objets (e.g., des fraises) faciliterait la réalisation de saisie de précision. Selon l'approche simulationniste (Barsalou, 2008), cet effet de potentialisation reflèterait la simulation sensorimotrice du concept associé à l'objet perçu, incluant notamment le geste de préhension habituellement associée à cet objet. Dans cette thèse, nous allons défendre une approche alternative qui est celle du codage de la magnitude. Selon cette approche, l'effet de potentialisation résulterait d'un effet de compatibilité entre les codes de magnitude relatifs à l'objet et les codes de magnitude relatifs à la réponse (Proctor & Miles, 2014 ; Heurley et al., 2020). L'objectif spécifique poursuivi a été de mieux comprendre les processus sous-jacents au codage des réponses. Pour cela, nous nous sommes appuyés notamment sur la Théorie du Codage des Évènements selon laquelle l'anticipation des effets perceptifs d'une action influencerait sa réalisation (TEC, Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019). Pour tester cette hypothèse, le protocole utilisé reprenait celui de Heurley et al. (2020, expérience 4) où la tâche consistait à catégoriser des objets manipulables avec une saisie de force ou une saisie de précision (e.g., pomme vs fraise) selon la coloration qui leur était appliquée. Les réponses étaient effectuées sans réaliser de geste de saisie mais simplement en pressant des touches de mêmes tailles soit avec la paume de la main, soit avec l'index. Après chacune des réponses un son grave ou aigu était systématiquement produit, chaque type de son était associé à une réponse particulière (e.g., la réponse avec la paume produisait un son aigu). Ce protocole a ensuite été décliné en trois ensembles d'expériences, réunies en autant d'articles. Conformément à notre hypothèse, les résultats confirment le fait que l'effet de potentialisation pourrait découler d'une compatibilité entre les codes de magnitude des objets et des effets perceptifs des réponses. Toutefois, nos résultats ne nous permettent actuellement pas de réfuter la présence d'un processus de simulation motrice dans l'émergence d'un effet de potentialisation. De plus, nos résultats semblent suggérer l'idée que l'intention des participants viendrait moduler la manière dont les différents effets perceptifs produits par les réponses seraient intégrés à leur codage (Memelink & Hommel, 2013 ; Hommel, 1993). La discussion portera donc sur (1) une réinterprétation de l'effet de potentialisation, (2) l'enrichissement de la TEC avec l'hypothèse du codage de la magnitude, et (3) la manière dont de multiples effets perceptifs induits par une réponse sont pris en compte pour moduler leur codage.

Mots-clefs: Effet de potentialisation, Codage de la magnitude, Intention, Anticipation, Théorie du Codage des Évènement, Simulation motrice

Abstract

Perceiving large objects (e.g., apples) would facilitate power grip, while seeing small objects (e.g., strawberries) would facilitate precision grip. According to the simulation approach (Barsalou, 2008), this potentiation effect would reflect the sensorimotor simulation of the concept associated with the perceived object, including the grasping gesture usually required for this object. In this thesis, we will argue for an alternative approach, which is the magnitude coding approach. According to this perspective, the potentiation effect would result from a compatibility effect between the object-related magnitude codes and the response-related magnitude codes (Proctor & Miles, 2014; Heurley et al., 2020). The specific goal addressed here was to better understand the processes underlying response coding. For this purpose, we relied in particular on the Theory of Event Coding according to which the anticipation of the perceptual effects of an action would influence its realisation (TEC, Hommel et al., 2001; Hommel, 2015, 2019). To test this hypothesis, the protocol used was based on the one of Heurley et al. (2020, experiment 4) where the task consisted of categorising objects manipulated with a power or a precision grip (e.g., apple vs. strawberry) according to the colouring applied to them. Responses were made without performing any grasping gesture but simply by pressing keys of the same size with either the palm of the hand or the index finger. After each response, a low or high tone was systematically produced, each type of tone being associated with a particular response (e.g., the response with the palm of the hand produced a high tone). This protocol was then declined in three sets of experiments, gathered in as many articles. Consistent with our hypothesis, our results confirm the fact that the potentiation effect could result from a compatibility between the magnitude codes of the objects and those of the responses' perceptual effects. However, our results do not currently allow us to refute the presence of a motor simulation process in the emergence of a potentiation effect. Moreover, our results seem to suggest that the participants' intention would modulate the way the different perceptual effects produced by the responses would be integrated into their coding (Memelink & Hommel, 2013; Hommel, 1993). The discussion will therefore focus on (1) a reinterpretation of the potentiation effect, (2) the enrichment of the TEC with the magnitude coding hypothesis, and (3) the way that multiple perceptual effects induced by a response are taken into account to modulate their coding.

Keywords: Potentiation effect, Magnitude coding, Intention, Anticipation, Theory of Event Coding, Motor simulation

La plupart des choses, des événements, des idées prennent une dimension nouvelle quand on les explique aux autres. À force de détailler, d'affûter, de cerner, de commenter et de montrer ce que l'on connaît, notre propre connaissance s'éclaire d'une acuité jusque-là insoupçonnée.

En démontant les mécanismes de ce qui est familier, on court le risque de les dépasser. C'est un risque, parce qu'il faut beaucoup de détachement et de curiosité, d'humilité et d'ambition, pour transcender ses limites sans s'y noyer.

Il arrive que les habitudes du connu s'ouvrent sur des questions auxquelles un esprit fermé ne peut répondre. De quoi vivre alors, lorsqu'on n'est plus certain que de l'inadéquation de nos certitudes ?

Comprenez que toutes choses, même finies, est un début.

*Aphorisme bohème
Ayerdhal, La Bohème et l'Ivraie.*

Il y a longtemps que l'inné (ou les caractères innés) ne justifie plus aucun acte : la culture évolue et l'acquis (ou l'éducation) est venu en surimpression s'accuser des responsabilités réelles de l'acte. Il est évident que le bagage de chacun motive ses mots et gestes, sa sensibilité et son comportement. Comme il est évident, d'un point de vue strictement humaniste, que l'humanité gagne à développer l'information et le savoir de chacun. Le mot sagesse (sapiens, dites-vous ?) est amusant, il signifie à la fois Raison et Connaissance.

Le droit de chacun devrait être d'apprendre, le devoir : de comprendre. On ne peut tout de même pas tenir l'enseignement reçu (serait-il autodidacte) pour responsable de toutes nos conneries. ! À quoi rimerait l'individu ?

Mais n'en profitez pas pour condamner votre prochain de sa bêtise crasse, ou alors apprenez-lui à comprendre.

*Aphorisme bohème
Ayerdhal, La Bohème et l'Ivraie.*

Remerciements

Alors qu'arrive le moment d'apporter le point final à ce manuscrit, il m'est ardu de savoir par où commencer ces remerciements. Non pas parce que je manque de personnes à remercier, mais au contraire : parce que j'en ai beaucoup. Non, je ne dirais pas « trop » parce que chacune de ces personnes m'ont fait le cadeau, chacune à sa manière, de m'aider à devenir qui je suis, et plus prosaïquement, à parvenir au bout de ces cinq années de doctorat. Je vais donc essayer de n'oublier personne, et si jamais c'est le cas, j'espère que vous n'en prendrez pas ombrage (surtout que si vous lisez ces lignes, il y a de grandes chances que vous soyez au fait de ma mémoire aléatoire) !

En premier lieu quand je pense à cette thèse, je pense aux personnes qui m'ont permis dans des conditions si exceptionnelles humainement parlant que je suis attristé qu'elles ne soient pas la norme pour l'ensemble des doctorants et doctorantes. Alors merci pour tout Loïc, Nico, Alex', Thibaut et Vincent en particulier, et merci aux membres du LICAE en globalité pour votre accueil, votre bienveillance, votre soutien et tous ces échanges quand vous avez partagé avec moi. « Ça » n'oubliera pas ! A mes collègues doctorants et doctorantes : je ne regrette pas du tout de ne pas avoir terminé ma thèse dans les trois ans réglementaires. Grâce à ça, j'ai eu la chance de vous connaître et de partager des moments et des discussions, même s'ils n'ont pas été aussi nombreux que j'aurais pu le souhaiter. Alors Lola, Ben, Hamza, Halim, Hélène, Nedjma, Lucas, Inès : merci à vous, et tenez bon : je suis persuadé que ce sera bientôt votre tour d'écrire ces lignes dans votre propre manuscrit ! Dans ces remerciements, je ne peux oublier Denis, Lionel, Romàn et Arthur qui m'ont accueilli lors de mon master à Montpellier et ont eu à supporter mes questions permanentes. Je suis navré Denis : je pense que ça ne s'est pas arrangé avec le temps. Au passage, Loïc et toi m'avez laissé un sacré flambeau. C'est un poids un peu intimidant, mais une lumière rassurante pour me souvenir pourquoi j'ai envie de persévérer dans cette voie de recherches et d'enseignements.

Pour continuer et sortir de la sphère universitaire, je voudrais remercier mes familles.

Tout d'abord il y a celle de sang : ma mère, ma grand-mère, mes sœurs, la tribu du Marais. Vous n'avez pas toujours compris ce que je faisais et je n'ai pas toujours été suffisamment patient, adroit ou présent pour vous y aider, mais vous étiez quand même là, et ça, c'est peut-être un détail pour vous, mais pour moi ça veut dire beaucoup. Alors merci.

Ensuite, il y a les familles de cœur, celle que la vie met sur votre chemin si vous décidez de leur faire une place. Alors pour commencer, un mot pour les JM. Vous avez été là très tôt dans ma vie et avez été les témoins de mes plus grosses évolutions et votre soutien a beaucoup compté pour moi. La thèse et ses difficultés ont prélevé un lourd tribut dans mon énergie et ma disponibilité, et je n'ai pas réussi à entretenir

les liens avec vous autant que je l'ai ardemment voulu. Sachez pourtant que je ne vous ai pas oublié, et que votre présence lointaine et discrète m'a quand même porté. Alors merci à vous, et à très vite j'espère.

Une autre famille, plus récente : celle de Charadis. Lucas mon Frère, Simon, Flo', mais aussi Sandra et Marine (oui, vous deux aussi! Vous n'en faisiez pas parties, mais vous y avez quand même bien participé!). Cette coloc fût un joyeux bordel ; une épreuve pour me motiver à travailler plutôt qu'à passer du temps avec vous ; mais elle fût surtout salvatrice à bien des égards. Je ne remercie pas le covid de nous avoir volé notre fin de coloc, et maintenant que chacun est parti à suivre sa vie il sera plus difficile de repartager de tels moments, mais je nous fais confiance pour nous débrouiller.

Enfin, une dernière famille pour laquelle je dois remercier le covid : celle du serveur discord PhD Student. J'y ai rencontrée des personnes en or qui m'ont beaucoup apporté et votre présence m'a été et m'est précieuse. Alors Eva, Nico, Anaïs, Alix, Beth, Vic', Mathilde, Marie, Nato et toutes celles et ceux que je n'ai pas cités : merci beaucoup. Un merci tout particulier aussi à Nato, Vic', Anaïs et Célia, ma soeur pour vos relectures de dernières minutes. Vos commentaires et remarques m'ont bien aidé à rendre ce manuscrit plus facile à lire.

Et pour terminer, je voudrais remercier deux personnes qui ont été centrales dans le fait que je parvienne à mener cette thèse jusqu'à son terme : Loïc et Laurène. Loïc tout d'abord, pour avoir été un directeur exceptionnel et une personne en or, je ne sais comment te remercier. Je ne vais pas énumérer ici toutes les raisons pour lesquelles je me sens redevable, chanceux et fier d'avoir profité de ta tutelle durant cette thèse, mais sache qu'elles ont beaucoup de valeur pour moi et que le moins que je puisse faire pour te remercier, c'est de faire de mon mieux pour pouvoir transmettre à mon tour ce que tu as partagé avec moi. Et Laurène enfin. Ça fait maintenant deux ans que tu partages ta vie avec moi. La pudeur me retient d'écrire ici toutes les raisons pour lesquelles j'ai envie de te dire merci, mais tu es plus que chère à mon cœur. Merci pour ton soutien, ta confiance et ton amour, j'espère ne jamais m'en montrer indigne.

...

Je savais que j'étais en train d'oublier quelque chose...

A vous Lucette Toussaint, Solène Kalénine, François Osiurak et Denis Brouillet, mes sincères remerciements pour avoir accepté d'évaluer mon travail. J'espère que la tâche ne sera pas trop fastidieuse et que vous y trouverez des choses intéressantes. Au plaisir d'échanger bientôt avec vous.

Table des matières

RESUME	1
ABSTRACT	2
REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	6
INDEX DES FIGURES	8
AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	10
CADRE THEORIQUE	12
CHAPITRE1	13
L'APPROCHE SIMULATIONNISTE DE LA COGNITION ET L'EFFET DE POTENTIALISATION MOTRICE	13
1.1 <i>L'approche simulationniste de la cognition</i>	13
1.1.1 L'approche cognitiviste	13
1.1.2 L'approche incarnée de la cognition.....	15
1.1.3 L'approche simulationniste des concepts	16
1.2 <i>L'effet de potentialisation motrice</i>	18
1.3 <i>Le paradigme expérimental et ses origines</i>	18
1.4 <i>L'effet de potentialisation de la saisie et l'hypothèse de la voie dorsale</i>	20
1.5 <i>Les travaux en faveur de la voie ventrale et du rôle des connaissances</i>	23
1.6 <i>La réutilisation de l'effet de potentialisation motrice dans l'approche simulationniste</i>	24
Synthèse.....	26
CHAPITRE2	27
L'HYPOTHESE DU CODAGE DE LA TAILLE	27
2.1 <i>Les effets de compatibilité stimulus-réponse et l'hypothèse du codage : le cas de l'effet Simon</i>	27
2.2 <i>Réinterprétation de l'effet de potentialisation motrice : un codage de la taille des objets et des réponses</i>	31
2.3 <i>Les travaux expérimentaux en faveur de cette hypothèse</i>	33
2.4 <i>La problématique : quels processus permettent de coder la taille des réponses ?</i>	35
Synthèse.....	36
CHAPITRE3	37
LA MAGNITUDE DES EFFETS PERCEPTIFS	37
3.1 <i>Approche idéomotrice de la cognition</i>	37
3.1.1 <i>Théorie Idéomotrice de James</i>	38

3.1.2 Approches expérimentales du principe idéomoteur.....	39
3.2 Le codage des retours perceptifs: la Théorie du codage des Évènements.....	42
3.3 Le rôle de l'intention	43
3.4 La théorie du codage de la magnitude.....	44
3.4.1 Le concept de magnitude	45
3.4.2 Les correspondances cross-modales vision/audition	46
3.5 Présentation de notre protocole expérimental	47
Synthèse.....	50
APPORT EXPERIMENTAL.....	52
INTRODUCTION.....	53
CHAPITRE4.....	55
ANTICIPATING THE MAGNITUDE OF RESPONSE OUTCOMES CAN INDUCE A POTENTIATION EFFECT FOR MANIPULABLE OBJECTS.....	55
4.1 Objectif et protocole expérimental.....	55
4.2 Principaux résultats et discussion	56
4.3 Conclusion	57
CHAPITRE5.....	77
THE MAGNITUDE OF POST-RESPONSE OUTCOMES DID NOT MODULATE THE POTENTIATION EFFECT OF GRASPING BEHAVIOURS.....	77
5.1 Objectif et protocole expérimental.....	77
5.2 Principaux résultats et discussion.....	79
5.3 Conclusion	80
CHAPITRE6.....	114
THE VERBAL INSTRUCTION IN FAVOUR OF ACTION EFFECTS CAN INFLUENCE THE POTENTIATION EFFECT OF GRASPING BEHAVIOURS.....	114
6.1 Objectif et protocole expérimental.....	114
6.2 Principaux résultats et discussion	115
6.3 Conclusions.....	116
DISCUSSION GENERALE	146
6.1 Remise en contexte de la thèse.....	147
6.2 Réinterprétation de l'effet de potentialisation selon l'hypothèse du codage de la magnitude et remise en question de l'hypothèse de la simulation motrice.....	151
6.3 Enrichissement de la TEC.....	154
6.4 Vers un codage intentionnel dans un contexte de multi-effets perceptifs.....	156
CONCLUSION.....	162
BIBLIOGRAPHIE.....	164

Index des figures

Figure 1. Schématisation du processus de construction d'un simulateur puis de production de simulations motrices associées (adaptée de Barsalou et al., 2003).....	17
Figure 2. Illustration du protocole expérimental employé par Tucker et Ellis (1998) dans leur expériences 1 (à gauche) et 2 (à droite) avec les graphiques des temps de réponses associés (issue de Tucker & Ellis, 1998).....	19
Figure 3. Dispositif de réponse utilisé par Ellis et Tucker (2000) avec les gestes de réponse associés.....	21
Figure 4. Schématisation des étapes d'apparition d'un effet de potentialisation selon l'approche simulationniste : a) perception d'un stimulus, b) réactivation du simulateur associé au stimulus et création d'une simulation sensorimotrice et c) effet de potentialisation se traduisant par une facilitation à réaliser l'action simulée.....	25
Figure 5. Exemple d'items utilisés par Phillips et Ward (2002). L'item du haut est en position neutre, ceux du milieu sont orientés à l'opposé des participants, et ceux du bas vers les participants.....	28
Figure 6. Exemple d'items centrés sur la globalité de l'objet (images de gauche) ou centrés sur le corps de l'objet (images de droite) ; inspirée de Cho & Proctor, 2013.....	29
Figure 7. Dispositif de réponse employé par Girardi et al. (2010) avec les gestes de réponse associés.....	32
Figure 8. Exemple de stimuli utilisés par Harrak et al. (2022) dans l'expérience 1 (a) et l'expérience 2 (b).....	33
Figure 9. Dispositif de réponse et réponses associées de l'étude de Heurley et al. (2020) : (a) expérience 1, (b) expérience 2, (c) expérience 3, et (d) expérience 4.....	35
Figure 10. Schéma du protocole en deux phases d'Elsner et Hommel (2001). En phase d'acquisition le stimulus neutre (S) induit les réponses RA et RB qui produisent respectivement les effets EA et EB. En phase de test, les effets EA et EB sont réemployés comme stimuli S(E) _A et S(E) _B . En (a) les réponses à fournir aux stimuli sont celles précédemment associées en phase d'acquisition, en (b) les réponses à fournir sont les réponses opposées.....	41
Figure 11. Schéma de notre protocole expérimental de base avec ses différentes étapes : a) apparition d'une croix de fixation, b) présentation d'un objet manipulable en nuance de gris durant 200, 400 ou 800 ms, c) coloration de l'objet en bleu ou orange, d) réponse des participants selon la coloration de l'objet, et e) production d'un son aigu ou grave selon la réponse effectuée.....	49

NB : Les figures faisant partie des articles intégrés à la thèse ne sont pas référencées dans cet index.

Avant-propos

Pourquoi certaines personnes sont-elles ce que l'on peut appeler des « MaGyver », capables d'improviser un hélicoptère à partir de trois bouts de ficelle, tandis que d'autres peinent à réaliser quoique ce soit si elles n'ont pas l'outil adapté sous la main ? La question peut prêter à sourire, pourtant c'est une situation que l'on retrouve fréquemment, ne serait-ce que lorsque l'on est étudiante et que l'on se retrouve à devoir planter un clou sans avoir de marteau ; en pleine excursion dans la nature et que l'on doit franchir une complication du terrain ou encore, en situation d'auto-défense à devoir trouver un moyen de se protéger en utilisant son environnement pour, par exemple, improviser une arme. C'est cette question et ses variations qui m'ont progressivement poussé à m'intéresser aux liens entre perception et action, jusqu'à choisir d'inscrire mon sujet de thèse dans ce champ de recherche. Une intuition que j'ai, est que les êtres humains partagent certes un même environnement physico-social (en un lieu et moment donnés), mais qu'une « réalité » propre à chacune y émergera selon les interactions que l'on s'attend à pouvoir avoir avec son environnement. Plus précisément, c'est parce que je me sais ou pense capable d'interagir de telle ou telle manière avec mon environnement que je vais progressivement lui donner un sens particulier, ce qui va façonner ma perception en une « réalité » qui m'est propre. Ma thèse n'a pas pour objectif de démontrer cette intuition, mais il me semblait important cependant de la mentionner car elle a servi de fil conducteur à mes recherches. Je vais donc pouvoir clore ici cet avant-propos afin de présenter ce que contient réellement ma thèse. En vous souhaitant autant de plaisir à la lire que j'en ai eu à la réaliser.

Introduction

Cette thèse poursuit deux objectifs complémentaires. Tout d'abord, le but est de proposer une réinterprétation de l'effet de potentialisation à travers une approche basée sur un codage de la magnitude, en opposition avec l'approche classique basée sur de la simulation motrice. Concrètement, un tel effet peut se définir comme la facilité à réaliser une saisie de force ou une saisie de précision lorsque l'on perçoit des objets respectivement de grande et de petite taille (e.g., pomme vs fraises). Pour l'approche simulationniste (Barsalou, 2008), l'effet de potentialisation traduirait la simulation sensorimotrice du concept associé à l'objet perçu, incluant notamment le geste de préhension habituellement associée à cet objet. Selon l'approche du codage de la magnitude défendue ici, l'effet de potentialisation viendrait d'un effet de compatibilité stimulus-réponse découlant de compatibilités entre le codage de la taille des objets et le codage de la magnitude des réponses (Proctor & Miles, 2014 ; Heurley et al., 2020). Le second objectif découle du premier puisqu'il s'agit de s'intéresser plus particulièrement aux processus permettant le codage des réponses à travers les effets perceptifs qu'elles produisent.

Cette thèse sera structurée en trois grandes parties : les considérations théoriques, l'apport expérimental, et la discussion générale.

La partie théorique a elle-même été subdivisée en trois chapitres. Le premier, portant sur l'approche simulationniste de la cognition et l'effet de potentialisation motrice, a pour objectif de présenter le cadre théorique global dans lequel s'inscrit cette thèse. Ce chapitre débutera donc par une brève description de deux conceptions de la cognition que sont l'approche cognitiviste et l'approche incarnée pour ensuite pouvoir exposer l'approche simulationniste des concepts. Enfin, ce chapitre se clôturera par une présentation du paradigme expérimental de l'effet de potentialisation et son évolution théorique jusqu'à son utilisation en tant que support de l'approche simulationniste des concepts. Le second chapitre traitera de l'hypothèse du codage de la taille en commençant par une présentation de l'effet de compatibilité stimulus-réponse qu'est l'effet Simon (Simon & Rudell, 1967 ; Hommel, 2019 ; Proctor et al., 2011), puis proposera une réinterprétation de l'effet de potentialisation sur le modèle d'un effet de compatibilité stimulus-réponse en s'appuyant sur divers travaux expérimentaux. Enfin, nous conclurons ce chapitre en exposant la problématique de cette thèse à propos des processus permettant le codage des réponses. Le troisième et dernier chapitre de cette partie théorique abordera plus en détails la question des effets perceptifs induits par les réponses, en décrivant tout d'abord les théories idéomotrices selon lesquels l'anticipation des effets perceptifs d'une action influencerait la réalisation d'une action volontaire. Une attention particulière sera dédiée à la modélisation des interactions entre la perception d'un objet, l'anticipation des effets perceptifs d'une action et la réalisation de cette dernière telle que

proposée par la Théorie du Codage des Évènements (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019), ainsi qu'au rôle modulateur joué par l'intention dans cette modélisation. Sera développé ensuite le concept de magnitude ainsi qu'une formalisation des correspondances cross-modales entre la vision et l'audition. Enfin, nous terminerons ce chapitre, et cette partie théorique, par une présentation succincte du protocole expérimental qui a été utilisé pour récolter les données.

Les différentes expériences qui ont pu être menées au cours de mon doctorat ont été réunies au sein de trois articles de recherches publiés ou en cours de publication qui feront chacun l'objet d'une sous-partie de la section expérimentale. Plus précisément, chaque article sera précédé d'une synthèse reprenant ses éléments principaux avant d'être intégralement mis à disposition.

Enfin, la dernière partie de cette thèse sera consacrée à la discussion où seront résumés les principaux résultats obtenus. Nous y développerons notamment une réinterprétation de l'effet de potentialisation basée l'hypothèse du codage de la magnitude soutenue par nos travaux. Nous rapporterons ensuite la manière dont cette dimension de magnitude pourrait venir enrichir la TEC. Et, enfin, nous aborderons la question de la nature des processus de codage des réponses lorsque ces dernières produisent de multiples effets perceptifs, et plus particulièrement du rôle joué par l'intention.

Cadre théorique

L'approche simulationniste de la cognition et l'effet de potentialisation motrice

L'objectif de ce chapitre est de présenter le paradigme simulationniste des connaissances tel que développé dans l'approche incarnée de la cognition (e.g., Barsalou, 2008). La compréhension de ce paradigme nous permettra d'aborder ensuite l'effet de potentialisation motrice (Tucker & Ellis, 1998, 2001), qui est le paradigme au centre de cette thèse. Enfin, la dernière partie de ce chapitre a pour but de comprendre comment cet effet a été réinterprété pour servir d'argument empirique en faveur de l'approche simulationniste de la cognition, puisque c'est aujourd'hui l'interprétation prédominante de l'effet de potentialisation.

1.1 L'approche simulationniste de la cognition

Pour mieux saisir les tenants et aboutissants du paradigme simulationniste des connaissances, il est nécessaire d'en faire l'historique épistémologique, car c'est en réaction à la conception cognitiviste des connaissances que l'approche incarnée s'est développée. Nous présenterons ensuite les grandes lignes de l'approche incarnée avant de nous intéresser plus en détails à l'approche simulationniste de la cognition.

1.1.1 L'approche cognitiviste

Ce courant de la psychologie, s'est développé à partir des années 1950 grâce aux progrès de l'informatique et de la cybernétique. Le cognitivisme a voulu expliquer le fonctionnement et l'organisation des processus mentaux sous-tendant les comportements en opposition aux modèles béhavioristes qui n'étudiaient que les comportements directement observables, au détriment des activités cognitives jugées non-observables (comme, par exemple, l'influence des connaissances d'un sujet). La perception, la cognition et l'action sont alors vues comme des modules indépendants fonctionnant en série. L'analogie employée alors est celle du «cerveau-ordinateur» avec d'un côté les systèmes nerveux centraux et périphériques (i.e., le hardware) servant à capter les informations et produire le comportement, et de l'autre l'esprit ou la pensée (i.e., le software) servant à interpréter, traiter et stocker ces informations – à noter que cette séparation corps et pensée n'est pas sans rappeler la dualité cartésienne. Les recherches menées dans ce paradigme ont donc mis l'accent sur le traitement de l'information comme élément causal

d'un comportement ou d'une action (Marr, 1982). L'idée défendue était qu'une information perçue dans l'environnement serait traduite dans un langage symbolique abstrait propre à la sphère mentale, et suivant des règles syntaxiques précises (ce que Fodor a nommé en 1975 le «*mentalis*»). De fait, une information initialement modale, c'est-à-dire définie par son canal d'entrée dans le système cognitif, devient une information amodale grâce au processus dit de «*transduction*». Autrement dit, un événement perceptif est transformé en une représentation sans lien avec sa modalité sensorielle d'origine sur laquelle les différents modules de la cognition pourront effectuer des suites d'opérations, ou computations, jusqu'à la production finale d'une action (Fodor, 1983, 1985). Toutes les connaissances nécessaires à, ou découlant de ces suites d'opérations sont ensuite encodées (i.e., stockées) dans l'une des diverses formes de mémoire pour pouvoir être récupérées ultérieurement (Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971 ; Baddeley, 1992 ; Baddeley et al., 2019 ; Cowan, 2019). Ainsi, pour les adeptes du cognitivisme, bien que perception, cognition et action soient gérées par des modules autonomes, ces dernières entretiennent néanmoins des relations de causalité entre elles. Par exemple, c'est parce que le module dédié à la perception visuelle détecte une fraise, que le module cognitif traduit ce percept modal en une représentation amodale et abstraite symbolisant la fraise. Il lui applique ensuite une série d'opérations logico-mathématiques qui aboutiront à une commande vers le module dédié à l'action afin de saisir et manger cette fraise par exemple. Afin de comprendre plus finement ce qu'il se passe durant ces séries d'opérations logico-mathématiques, le postulat chronométrique est utilisé pour défendre l'idée que plus le nombre d'opérations cognitives impliquées est important, plus le temps mis pour réaliser la tâche sera important (Donders, 1969). De fait, il serait donc possible de déduire la quantité d'opérations mentales pour une tâche donnée via le temps mis pour la réaliser. Il en va de même pour la relation entre la complexité des opérations et le taux d'erreurs.

Ainsi, pour résumer, le cognitivisme expose une vision modulariste de la cognition dont le but premier serait de traiter les informations venant du monde extérieur. Ce traitement passe, dans un premier temps, par la traduction du percept en une représentation symbolique et amodale. Cette représentation subit ensuite dans un second temps une série d'opérations mentales plus ou moins longues et complexes dont le résultat peut aboutir à la production d'une action ou d'un comportement. En tant qu'approche théorique, le cognitivisme s'intéresse donc à l'explication et à la modélisation des différents modules à l'origine des opérations se déroulant entre la perception d'un stimulus et la production d'une réponse, notamment via l'étude des temps de réponse.

1.1.2 L'approche incarnée de la cognition

Sans remettre en cause ni l'objectif du cognitivisme, à savoir expliquer les processus qui sous-tendent le comportement ou la réalisation d'une action, ni la démarche expérimentale visant à analyser les temps de réponse, les partisans de l'approche incarnée et située de la cognition contestent toutefois l'idée que cette dernière soit modulaire et surtout symbolique et amodale. Autrement dit, pour eux, les systèmes perceptifs et cognitifs fonctionnent de pair, et il ne peut y avoir de distinction entre la nature et la fonction des informations traitées par un système ou l'autre. Bien qu'il n'existe pas une théorisation unifiée de la cognition incarnée et située, mais plutôt un ensemble de théories (Shapiro, 2011 ; Wilson, 2002 ; pour revue une revue de la littérature, voir Matheson & Barsalou, 2018), ces dernières se rejoignent tout de même sur certains aspects centraux. Nous allons donc détailler les trois critiques principales de l'approche cognitive mises en avant par Matheson et Barsalou (2018).

La première critique formulée par Matheson et Barsalou (2018), et sur laquelle s'accordent toutes les théories s'inscrivant dans l'approche incarnée de la cognition, est que l'action n'est pas qu'un simple produit final du processus cognitif (e.g., Gibson, 1979). Au contraire, l'action et tous les éléments découlant du système sensorimoteur seraient, selon cette approche, centraux et indispensables à l'émergence de la cognition (Pecher & Zwaan, 2005 ; Barsalou, 2010). En effet, pour ces approches la perception et l'action ne sont pas deux entités séparées. Il n'existerait pas par conséquent de sujet séparé de son environnement devant traiter les informations qu'elle reçoit de ce dernier. Au contraire, le sujet ici est considéré comme étant en interaction avec son environnement et se comportant comme un « agent perceptif » recherchant activement les informations dont elle a besoin (Varela et al., 1991).

La deuxième critique pointée par Matheson et Barsalou (2018), concerne la notion de représentations abstraites, c'est-à-dire de connaissances amodales et décontextualisées. En effet, la nature amodale des connaissances implique une forme d'appariement arbitraire de ces connaissances avec les entités de l'environnement qu'elles sont censées représenter. Un problème central est que les partisans de l'approche cognitive ne fournissent aucune justification quant à ces règles d'appariement, et donc n'expliquent pas non l'origine de la sémantique d'une connaissance (voir Searle, 1980 ; Harnad, 1990 ; citées par Matheson & Barsalou, 2018). Plus précisément, le sens d'une représentation abstraite ne peut venir de ses relations avec d'autres représentations symboliques abstraites (Glenberg & Robertson, 2000). Harnad (1990) illustre ce problème avec une situation où l'on chercherait à apprendre le mandarin avec seulement un dictionnaire de mandarin en mandarin. Il apparaît alors difficile de donner du sens à un élément dès lors que les éléments pouvant servir à le définir sont tout autant dénués de sens. Ainsi, pour les conceptions incarnées de la cognition, la sémantique d'une connaissance s'appuie sur les processus sensorimoteurs qui en sont à l'origine. Ce postulat trouve des appuis dans plusieurs études de neurosciences qui mettent en effet en évidence l'activation de régions sensorimotrices du cortex cérébral

lors de tâches de catégorisation sémantique ou d'imagerie mentale, ce qui permet d'affirmer le caractère modal des connaissances (Damasio, 1989 ; Pulvermüller et al., 2013 ; Martin, 2001, 2007 ; Thompson-Schill, 2003 ; Goldberg et al., 2006 ; Kan et al., 2003 ; Kellenbach et al., 2001 ; Simmons et al., 2007 ; pour une revue voir Barsalou, 2008).

La troisième critique est de nature méthodologique. Elle concerne l'absence de questionnements quant aux prémisses tant philosophiques que théoriques du cognitivisme, ce qui amènerait certains phénomènes ou variables à être ignorés, influençant donc du même coup la conception des designs expérimentaux, voire l'interprétation des résultats. Par exemple, la taille visuelle d'un objet n'est pas considérée comme étant une variable pertinente pour la conception cognitiviste de la cognition alors qu'elle l'est pour l'approche incarnée de la cognition (Matheson & Barsalou, 2018).

Ces différentes critiques mettent en évidence certaines limites de l'approche cognitiviste de la cognition que l'approche incarnée de la cognition va tenter de dépasser. Il est important néanmoins de comprendre qu'il n'existe pas une conception unifiée—une seule théorie incarnée—mais plutôt une grande diversité de théories et d'approches qui varient au niveau de leurs hypothèses de travail. Plusieurs taxonomies ont été développées afin de catégoriser ces différentes approches (e.g., Riener & Stefanucci, 2014 ; Kiverstein, 2012 ; Wilson, 2002). Dans la suite de ce travail, nous allons plus particulièrement nous concentrer sur l'approche simulationniste des concepts de Barsalou (2008) que l'on peut classer, selon la taxonomie de Shapiro (2011), parmi les hypothèses incarnées de conceptualisation.

1.1.3 L'approche simulationniste des concepts

Selon l'approche simulationniste des concepts principalement développée par Lawrence W. Barsalou, le corps et les systèmes sensorimoteurs jouent un rôle fonctionnel dans la construction des connaissances (Barsalou, 1999, 2003, 2008a, 2008b, 2009, 2010, 2015 ; Barsalou et al., 2003 ; Simmons & Barsalou, 2003 ; Pecher et al., 2004 ; Kiefer & Barsalou, 2013). Ainsi, cette approche propose que la perception d'un objet physique entraîne la production de représentations sensorimotrices dans les systèmes nerveux dédiés (i.e., construction de simulateur via le phénomène de capture), et que les processus cognitifs sont ensuite supportés par la simulation de ces représentations (voir Figure 1). Notre recherche s'inscrivant en opposition à cette approche, nous allons en détailler les différents processus, avec tout d'abord celui de capture et de construction de simulateurs, puis celui de la production de simulations sensorimotrices.

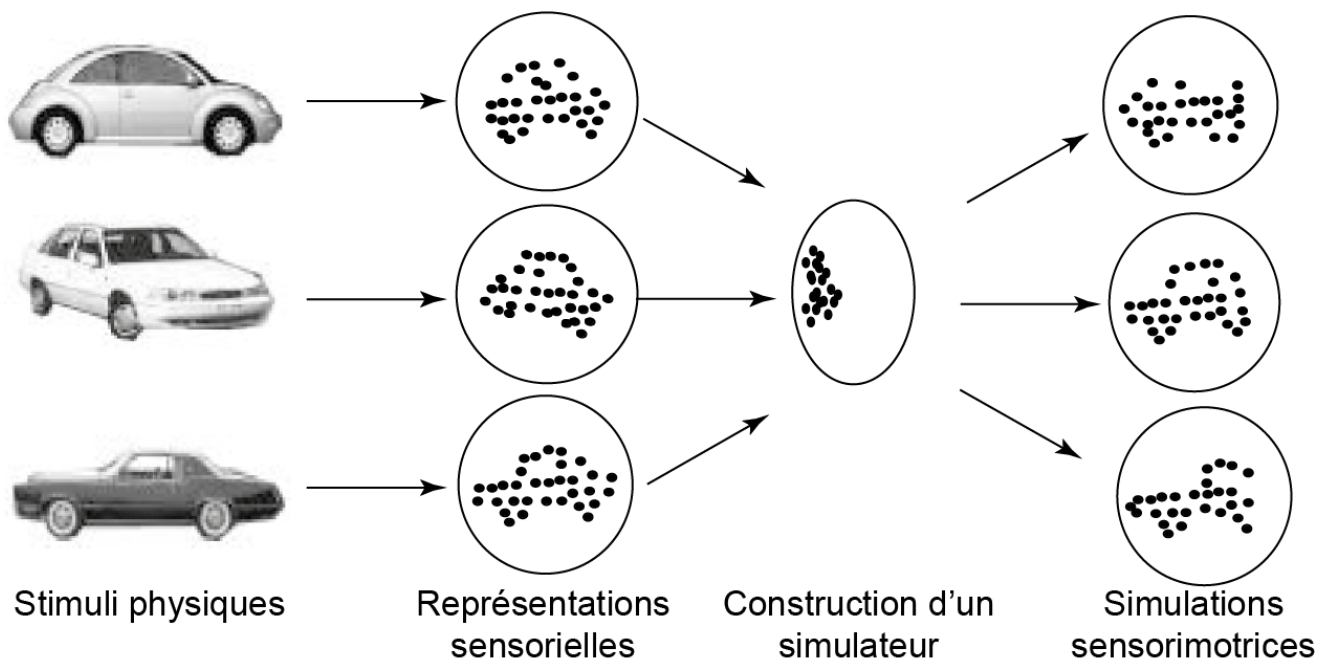


Figure 1. Schématisation du processus de construction d'un simulateur puis de production de simulations motrices associées (adaptée de Barsalou et al., 2003).

Le premier processus de l'approche simulationniste des concepts est donc celui dit de capture. Durant cette étape, la perception d'un stimulus physique va entraîner l'activation de neurones dans diverses régions du cortex cérébral telles que par exemple l'aire visuelle, l'aire motrice ou encore l'aire auditive. Cet ensemble d'activations va ensuite être capturé au sein d'un simulateur, c'est-à-dire un réseau multimodal représentant une connaissance à propos d'une catégorie d'expériences spécifiques (e.g., Barsalou, 1999, 2003, 2008a, 2008b, 2009). Ces simulateurs, que l'on peut donc assimiler à des concepts, correspondent à des distributions multimodales de schémas neuronaux communs à différentes instances d'un même groupe d'objets. Dans ces simulateurs, des caractéristiques de l'environnement physique sont donc capturées (i.e., conservées en mémoire) qui lorsqu'elles s'agrègent d'une certaine manière peuvent former des connaissances tant perceptives que motrices, affectives, linguistiques ou encore situationnelles liées à un concept. Ces connaissances sont mises à jour à chaque interaction avec un exemplaire de ce concept, ce qui vient enrichir le contenu du simulateur. Pour donner un exemple, nous pouvons envisager un simulateur représentant le concept de POMME. Ce dernier regrouperait les traces des connaissances tant visuelles, que gustatives, somatosensorielles ou encore motrices propres aux pommes dans leur ensemble, qu'elles soient des pommes Granny Smith, Gala ou Golden.

Le dernier processus que nous allons détailler est celui de la simulation sensorimotrice (Barsalou, 2003, 2008a, 2008b, 2009). Une fois qu'un simulateur a été mis en place pour «représenter» un concept spécifique (e.g., le concept de POMME), la perception d'un élément de ce concept (e.g., une pomme Granny Smith) va activer une partie du réseau neuronal propre au simulateur (e.g., le système visuel), ce qui va

avoir pour conséquence une activation partielle des autres parties de ce réseau (e.g., les systèmes moteur et gustatif)¹. Cette réactivation des structures neuronales du simulateur va entraîner la simulation de nombreuses caractéristiques relatives au concept capturées lors d'expériences antérieures : simulation perceptive multimodale (e.g., le goût, la texture, l'odeur), simulation motrice (e.g., saisie, mastication), simulation linguistique (e.g., nom, connaissances sémantiques). A noter que, pour Barsalou (2003, 2008a, 2008b, 2009), ces simulations, en plus d'être multimodales, sont aussi partielles car seule une fraction du simulateur est réactivée, à savoir les caractéristiques les plus communément partagées par les exemplaires de la catégorie, ainsi que les éléments plus spécifiques à l'exemplaire actuellement traité. De plus, ces simulations se produisent la plupart du temps de manière automatique et non conscientisée.

Dans le cadre de notre recherche, nous allons nous intéresser à un aspect plus spécifique de cette théorie qui est celui de la simulation de caractéristiques motrices induite par la simple perception d'un objet. Pour cela, nous allons nous appuyer sur l'effet de potentialisation motrice étudié initialement par Mike Tucker et Rob Ellis (Tucker et Ellis, 1998, 2001, 2004, Ellis et Tucker, 2000).

1.2 L'effet de potentialisation motrice

Afin de comprendre comment s'est développée l'interprétation de l'effet de potentialisation motrice, nous allons présenter quatre étapes importantes de son évolution tant historique que théorique. La première étape sera dédiée au paradigme expérimental d'origine de l'effet de potentialisation motrice à travers l'étude de Tucker et Ellis (1998). La deuxième étape portera sur l'étude de Ellis & Tucker (2000) et l'interprétation en termes de micro-affordances qu'elle défend (i.e., rôle exclusif de la voie dorsale de la vision). La troisième étape sera consacrée aux travaux expérimentaux en faveur d'une implication de la voie ventrale (et donc des connaissances). Enfin, nous montrerons dans la dernière étape comment cet effet a été interprété et réutilisé dans le cadre de l'approche simulationniste.

1.3 Le paradigme expérimental et ses origines

Dans l'étude de 1998, Tucker et Ellis développent l'hypothèse selon laquelle la simple perception visuelle d'un objet pourrait potentialiser les actions avec cet objet malgré l'absence d'intentions explicites à agir (i.e., l'activation des représentations motrices).

Ce postulat s'appuie sur différentes études de A. David Milner et Melvyn A. Goodale en neuropsychologie montrant la prédominance de la voie dorsale du système visuel sur la voie ventrale dans les activités visuomotrices (Goodale & Milner, 1992 ; Goodale et al., 1991 ; Milner & Goodale, 1993, 2008 ;

¹ A noter que cet ensemble d'activation peut aussi découler d'un effort de mémoire.

pour des travaux plus récents, voir Goodale, 2021, Whitwell et al. 2020). Ces études ont mis en évidence le fait que des lésions de la voie ventrale de la vision entraînent des répercussions sur la reconnaissance d'objets, de leur localisation, de leur taille ou encore de leur orientation, mais que les capacités d'atteinte et de saisie de ces objets restaient inchangées. En cas d'atteintes de la voie dorsale ces répercussions sont inversées. Tucker et Ellis (1998) interprètent ces résultats en proposant que la perception des caractéristiques d'un objet pertinentes pour l'action (i.e., les affordances) se ferait de manière automatique par le biais de la voie dorsale sans inclure de connaissances ou de représentations qui seraient portées par la voie ventrale. Dans ce premier article, Tucker et Ellis (1998) ne parlent pas encore de micro-affordance mais simplement d'affordance dans la continuité des travaux de Gibson (1950, 1969, 1977, 1979).

Afin de défendre cette hypothèse, Tucker et Ellis (1998) montrent à leurs participants des photographies d'objets saisissables tels que des poêles ou des théières. Les objets, positionnés à l'endroit ou à l'envers, sont placés au centre de l'image, la partie préhensible (i.e., le manche ou l'anse) orientée vers la droite ou vers la gauche. La consigne pour les participants est de répondre si l'objet est à l'endroit ou à l'envers. De fait, la localisation de la partie préhensible de l'objet n'est pas un élément pertinent pour la tâche à réaliser. Dans une première expérience les participants ont eu à appuyer sur des touches, à gauche ou à droite, avec leur main gauche ou droite respectivement. Les résultats ont alors révélé un effet de compatibilité stimulus-réponse avec des temps de réponses moyens plus courts lorsque la partie préhensible de l'objet et la main de réponse étaient du même côté. Par exemple, un participant répondait plus rapidement avec sa main droite si la partie préhensible de l'objet présenté était orientée à droite. Dans une seconde expérience, les réponses se faisaient avec l'index et le majeur de la main droite uniquement, et dans ce cas-là les résultats n'ont pas montré d'effet de compatibilité (voir Figure 2).

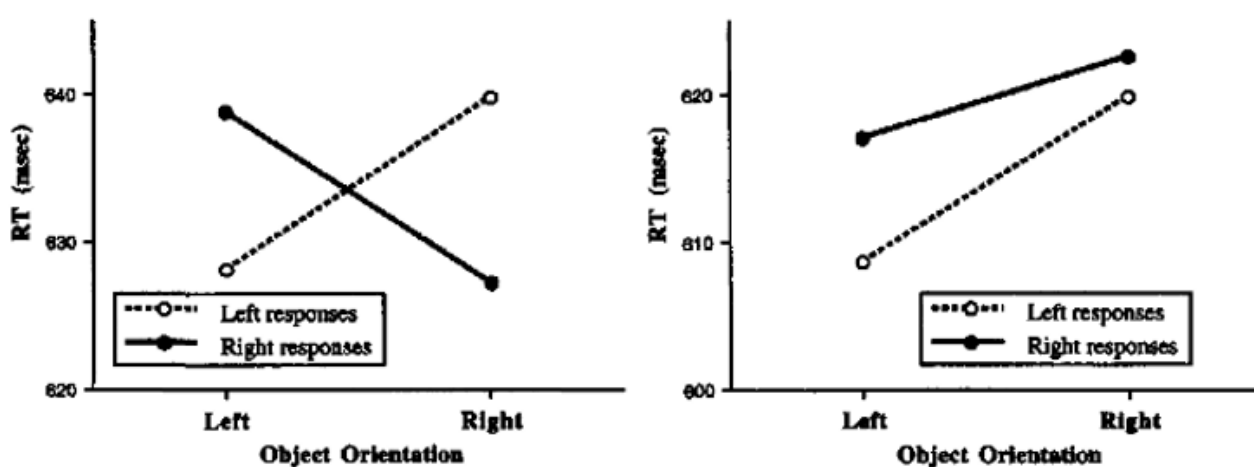


Figure 2. Illustration du protocole expérimental employé par Tucker et Ellis (1998) dans leur expériences 1 (à gauche) et 2 (à droite) avec les graphiques des temps de réponses associés (issue de Tucker & Ellis, 1998).

Pour Tucker et Ellis (1998), le fait de trouver un effet de compatibilité stimulus-réponse dans la condition bimanuelle s'expliquerait par la présence d'affordances de saisie qui potentialiseraient des actions engageant la main complète. Tucker et Ellis (1998) démontrent également que leurs résultats ne peuvent pas s'expliquer par un effet Simon (Simon, 1969) découlant d'un codage abstrait et automatique de la latéralité des stimuli et des réponses, puisqu'un tel effet n'est pas observé dans la condition unimanuelle.

1.4 L'effet de potentialisation de la saisie et l'hypothèse de la voie dorsale

Ellis et Tucker (2000) ont développé la notion de «micro-affordance» afin de décrire les caractéristiques typiques d'un objet qui suggèrent, voire exigent, des actions motrices spécifiques associées à l'objet (e.g., saisir l'anse d'une tasse avec quelques doigts). Pour ces auteurs, une micro-affordance renvoie à une relation, non pas entre un objet ou une partie de l'environnement et le système moteur, mais entre une caractéristique précise d'un objet (e.g., sa taille) et une composante spécifique de l'action (e.g., ouverture de la main dans le cadre d'un objet saisissable). Ainsi, là où les affordances faciliteraient des actions génériques telle que la saisie, les micro-affordances faciliteraient (i.e., potentialiseraient) des actions plus spécifiques en adéquation avec l'objet perçu, comme par exemple la saisie de précision ou la saisie de force (pour une définition de ces saisies, voir Napier, 1956, 1960 ; Castiello, 2005). C'est en cela qu'ils qualifient les affordances de « micro », car elles correspondent à des relations entre des sous-composantes des objets (i.e., le stimulus) et des sous-composantes de l'action (i.e., la réponse).

De plus, Ellis et Tucker (2000) expliquent que les affordances, telles que définies par l'approche Gibsonienne (Gibson, 1979 ; Chemero, 2003), seraient des propriétés de l'objet car « pleinement spécifiées par le pattern de simulations émises par l'objet », tandis que les micro-affordances seraient des « propriétés dispositionnelles du système nerveux de l'individu » (Ellis & Tucker, 2000, p. 466)². Plus précisément, Ellis et Tucker se basent sur les travaux de Goodale et Milner (1992 ; Goodale et al., 1991 ; Milner et Goodale, 1993 ; citées par Ellis et Tucker, 2000) qui élargissent le rôle joué par la voie dorsale de la perception en lui attribuant un rôle dans le contrôle et la représentation des actions liées aux objets. Ainsi, les

² Texte original : « *These behavioural possibilities are, in the Gibsonian tradition, in the object in the sense that they are fully specified by the pattern of stimulation the object provides to a viewer. In contrast to this notion of affordances being dispositional properties of objects and events, our notion has them as dispositional properties of a viewer's nervous system* ». Cette définition est toutefois nuancée dans l'étude de Tucker et Ellis (2001) où ils indiquent qu'ils ont « *utilisé le terme micro-affordance (Ellis et Tucker, 2000 ; voir aussi Jeannerod, 1994) pour faire référence à des propriétés de l'objet pertinentes pour l'action, et dont les représentations sont pour partie constituées par l'activation partielle des patterns moteurs requis pour interagir avec ces objets* » (« *we have used the term micro-affordances (Ellis & Tucker, 2001; see also Jeannerod, 1994b) to refer to action-relevant object properties whose representation is in part constituted by the partial activation of the motor patterns required to interact with them* », Tucker & Ellis, 2001, p. 770).

représentations mentales d'un objet visuel automatiquement traitées par la voie dorsale seraient de nature visuomotrice car elles seraient composées à la fois des informations sur les propriétés visuelles de l'objet et sur les actions pertinentes vis-à-vis de ce même objet (voir Grèzes & Decety, 2002 ; Grèzes et al., 2003 pour des arguments de neuroimagerie en faveur de ce postulat).

Dans leur expérience 1, Ellis et Tucker (2000) ont présenté des objets réels (et non des photographies sur ordinateur³) dont l'usage habituel requiert préférentiellement soit une saisie de force (i.e., l'ensemble des doigts fléchis pour former une pince avec la paume), soit une saisie de précision (i.e., pince caractérisée par une opposition entre la pulpe du pouce et celle(s) d'un ou plusieurs autres doigts). Peu après l'apparition de l'objet (700 ms), un son aigu ou grave était émis jusqu'à la réalisation d'une réponse. La consigne pour les participants était de catégoriser ce son selon sa tonalité en répondant avec un dispositif spécifique composé de deux éléments. Le premier élément était un tube en aluminium de 11 cm de haut pour 1.8 cm de diamètre placé dans la paume de la main droite avec, sur le côté à l'opposé de la paume, une languette permettant de presser un interrupteur lorsque l'on serrait les doigts (i.e., majeur, annulaire et auriculaire). Le second élément était un bouton de 1 cm² sur 4 mm d'épaisseur tenu entre le pouce et l'index de la main droite toujours. Le dispositif ainsi conçu permettait donc de mimer à la fois des saisies de force et des saisies de précision (voir Figure 3).

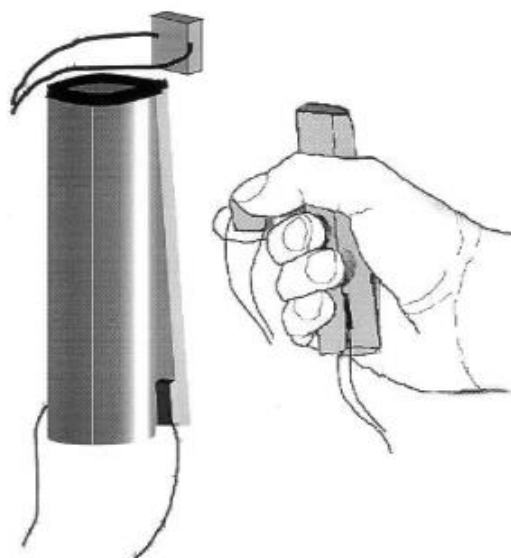


Figure 3. Dispositif de réponse utilisé par Ellis et Tucker (2000) avec les gestes de réponse associés.

³ Ce choix s'explique par le fait que l'effet de potentialisation dépendrait de la perception directe des micro-affordances, et donc de la possibilité d'interagir avec les objets présentés. Cela change légèrement par rapport à leur perspective de 1998 dans laquelle ils utilisent des photographies d'objets.

Il y avait deux appariement son/réponse possible manipulé en inter-sujet (e.g., son aigu/saisie de précision – son grave/saisie de force). Afin de s'assurer que les conditions soient propices à l'apparition d'un effet de potentialisation, Ellis et Tucker (2000) ont réalisé un contrôle en demandant aux participants de mémoriser ces objets présentés pour les phases de reconnaissance ultérieures mais sans pour autant y prêter trop d'attention ni garder activement les objets précédents en mémoire. Il y avait possiblement deux objectifs à cela. D'un côté, contrecarrer le fait que la tâche sur les sons puisse être réalisée sans regarder les objets, ce qui autrement serait problématique puisque le postulat est que l'effet de potentialisation dépendrait de la perception visuelle des objets. D'un autre côté, s'assurer que seule la voie dorsale soit impliquée dans la tâche car les chercheurs considèrent l'effet comme imputable uniquement à la vision directe (i.e., voie dorsale) et non la vision médiatisée par les connaissances (i.e., voie ventrale).

Le principal résultat de cette étude est l'interaction entre le type de saisie associée aux objets et la réponse qui s'illustre par des temps de réponse plus court pour produire une saisie de précision lorsque les objets présentés sont compatibles avec ce type de saisie (e.g., un stylo) que quand ils ne le sont pas (e.g., une bouteille), et inversement pour la saisie de force⁴. Pour Ellis et Tucker (2000), cet effet de potentialisation est cependant une preuve empirique de l'existence des micro-affordances puisque la perception des objets, non pertinente pour l'action à réaliser, va malgré cela, faciliter la réalisation d'un type de saisie spécifique en fonction de l'objet perçu, indépendamment de l'intention du participant.

Afin d'étayer leurs précédentes conclusions, Mike Tucker et Rob Ellis ont réutilisé ce protocole en 2001. Pour les différentes expériences de cette étude, la consigne était cette fois de catégoriser l'objet présenté selon s'il était naturel ou manufacturé en réalisant une saisie de précision ou une saisie de force à l'aide d'un dispositif identique. Toutefois, pour une partie des expériences, la procédure induisait un délai entre la présentation (voire la disparition) des objets et la réponse à réaliser. Les résultats de cette étude ont montré un effet de potentialisation, bien que l'apparition de ce dernier semble fortement conditionnée par la présence visuelle de l'objet. En effet, un délai de 300 ms entre la disparition de l'objet et le déclenchement de la réponse serait à même de supprimer l'effet de potentialisation (voir l'expérience 4b de Tucker & Ellis, 2001). Dans la continuité de leur précédente interprétation, Tucker et Ellis (2001) défendent l'idée que l'effet de potentialisation dépendrait de représentation visuomotrice, elle-même

⁴ Ce résultat est toutefois nuancé par une interaction double avec le mapping puisque l'effet de potentialisation ne se retrouve que dans la condition où la saisie de précision est associée au son aigu, et la saisie de force au son grave. De plus, Ellis et Tucker (2000) observent des temps de réponse plus courts pour le mapping « son aigu/saisie de précision – son grave/saisie de force » par rapport au mapping inverse. Pour Ellis et Tucker une possible compatibilité stimulus-stimulus viendrait empêcher l'apparition de l'effet de potentialisation dans la condition où le son grave est associé à la saisie de précision. Pour ces auteurs, « dans l'autre mapping (saisie de précision /son grave – saisie de force/son aigu), les deux sources de compatibilité sont incongruentes, là encore dans toutes les conditions. Par exemple, lors de la réponse à un son grave, en présence d'un objet associé à la saisie de force, la réponse est incongruente avec l'objet, mais le son et l'objet sont congruents. » (« In the other mapping (precision-low/power-high) the two sources of compatibility are incongruent, again in all conditions. For instance, when responding to a low tone, in the presence of a power object, the response is incongruent with the object, but the tone and object are congruent », Ellis & Tucker, 2000, p. 460).

dépendante de la voie dorsale de la vision du fait de la nature transitoire de ses représentations. Plus précisément les chercheurs expliquent que « *l'une des caractéristiques du traitement visuomoteur dans les voies dorsales est qu'il produit des représentations relativement transitoires (dans le sens d'une mise à jour rapide) des propriétés des objets pertinents pour l'action (Goodale & Humphrey, 1998 ; Goodale & Servos, 1992). C'est une exigence de tout système visant à fournir des informations utiles pour le contrôle des actions* » (Tucker & Ellis, 2001, p. 781).

1.5 Les travaux en faveur de la voie ventrale et du rôle des connaissances

Il est à noter que dans leur étude de 2001 Tucker et Ellis nuancent leurs propos précédents et questionnent la nature des processus mis en jeu dans la genèse des effets de potentialisation. En effet, ils observent dans leur étude la présence d'effets de potentialisation dans deux résultats contradictoires avec l'hypothèse « dorsale ». Dans le premier cas de figure, les objets sont présentés hors d'atteinte des participants (Tucker & Ellis, 2001, expérience 1), tandis que dans le second les objets sont montrés sous forme de photos (Tucker & Ellis, 2001, expérience 2). Dans les deux cas, l'interaction directe avec les objets présentés est impossible. Ces deux éléments font dire à Tucker et Ellis (2001) que les processus menant à des effets de potentialisation pourraient être partiellement différents de ceux qui gouvernent les actions visuellement orientées. Ils précisent aussi que leurs « *résultats ne permettent pas de supporter pleinement une interprétation basée sur une forte distinction entre les systèmes dorsaux et ventraux. Une telle distinction pourrait être une simplification excessive car les deux systèmes ont des connexions corticales étendues et partagent de nombreuses propriétés de traitement.* » (Tucker & Ellis, 2001, p. 793)⁵.

En 2004, Tucker et Ellis ont mené une série d'expériences afin de répondre aux questions soulevées par leur études de 2001 et mettre à l'épreuve cette hypothèse « dorsale ». Plus précisément, leur objectif était de clarifier si la présence visuelle « en ligne » d'un objet est nécessaire pour l'apparition d'un effet de potentialisation. La particularité de cette nouvelle étude était de faire diminuer la dimension visuelle de l'objet que ce soit en masquant l'objet plus ou moins rapidement (expérience 1), soit en dégradant l'image (expérience 2), soit remplaçant les images des objets par leur nom (expérience 3). Le postulat derrière ces expériences était que si l'effet de potentialisation était exclusivement dû à une implication de la voie dorsale traitant de façon automatique les informations immédiatement accessibles (Goodale & Humphrey, 1998), alors cet effet ne devrait pas être présent. A contrario, si des connaissances en mémoire relatives à la relation objet-action sont impliquées dans la génération des micro-affordances, alors les schémas moteurs qui sous-tendent ces connaissances pourraient être activés sans passer par un traitement

⁵ Texte original : « *the results do not wholly support an interpretation based on a strong dorsal-ventral distinction. Such a distinction may be an oversimplification as both systems have extensive cortical connections and share many processing properties* » (Tucker & Ellis, 2001, p. 793).

dorsal «en ligne». Les résultats de cette étude ont mis en évidence un effet de potentialisation dans chacune des expériences. Ainsi, Tucker et Ellis (2004) développent l'idée que dès lors que le protocole expérimental ne nécessite pas d'actions d'atteinte et de saisie, le traitement des représentations de l'objet s'opérerait à travers la voie ventrale. Cette voie étant reconnue pour impliquer la mémoire et les connaissances, les effets de potentialisation dépendraient alors principalement d'un traitement des connaissances relatives aux actions associées à l'objet. Plus précisément, ces connaissances se construiraient via les interactions passées avec l'objet et seraient donc intégrées à la représentation contenue dans la voie ventrale de l'objet lui-même. Les chercheurs en concluent que «*les effets des affordances visuelles dans des tâches hors-ligne refléteraient l'activation de connaissances d'action en mémoire, constituées à partir des interactions passées qui ont été intégrées à la représentation de l'objet lui-même.*» (Tucker & Ellis, 2004, p. 200)⁶.

Ce constat selon lequel les micro-affordances seraient des propriétés du système représentationnel ventral, et non l'expression d'une coordination visuomotrice opérant dans le système dorsal va être appuyé par des études comme celle de Derbyshire et al. (2006) ou encore la thèse de Smimmo (2015).

En conclusion, Tucker et Ellis (1998, 2000, Ellis et Tucker, 2000) proposent une définition des micro-affordances comme étant des propriétés physiques particulières d'un objet amenant à la réalisation d'une action spécifique. Cette définition se rapproche de celle de Turvey (1992) de par son aspect dispositionnel (i.e., qui conduit automatiquement à l'action), mais s'en éloigne en même temps que de la théorie gibsonienne de par son aspect représentationnel (i.e., l'affordance n'est plus une propriété de l'environnement, mais une représentation mentale de l'individu). Cependant, la question reste en suspens quant au fait de savoir si ces représentations visuomotrices induites par les micro-affordances seraient exclusivement traitées par la voie dorsale ou la voie ventrale de la vision ou encore les deux en interaction (Ellis et al., 2007; Symes et al., 2008, 2010; Girardi et al., 2010; Makris et al., 2011; Vainio et al., 2007, 2008, 2014).

1.6 La réutilisation de l'effet de potentialisation motrice dans l'approche simulationniste

Les études de Tucker et Ellis (2004; Ellis & Tucker, 2001) sur l'effet de potentialisation ont montré que la perception d'un objet facilitait la réalisation d'un type d'action de saisie spécifique à l'objet, malgré le fait que les tâches à réaliser ne requéraient aucun traitement de cette information. Pour Barsalou

⁶ Texte original : «[...] that object affordance effects in off-line tasks reflect the activation of stored action knowledge built up from a history of past interactions that have become integrated with the object representation itself» (Tucker & Ellis, 2004, p. 200).

(2008a, 2009 ; voir aussi Pecher et al., 2004 ; Borghi & Riggio, 2015 ; pour une revue de la littérature, voir Matheson et al., 2015), ces résultats découleraient d'un mécanisme de simulation motrice. En effet, la perception d'un objet activerait automatiquement la simulation d'éléments rattachés au concept de l'objet (i.e., simulateur), dont des traces motrices des actions antérieures réalisées avec les objets (i.e., composants moteurs). La simulation de ces composants motrices faciliterait la réalisation effective de cette action induisant un effet de potentialisation motrice. Cette interprétation de l'effet de potentialisation des comportements de saisie, que l'on retrouve notamment suggérée dans les travaux de Tucker et Ellis (2004), défend donc un lien perception-action indirect puisque médiatisé par un accès aux connaissances relatives à l'objet perçu. Ainsi, l'effet de potentialisation n'est vu non plus comme le résultat de la perception directe de micro-affordances d'un objet spécifique à une action (Tucker & Ellis, 1998, 2001 ; Ellis & Tucker, 2000), mais comme la facilitation à réaliser l'action usuelle avec cet objet du fait de la simulation des connaissances qui lui sont associées. Par exemple, lors de la perception visuelle d'un donut il y aurait une activation de différentes aires cérébrales impliquées dans le traitement des caractéristiques spécifiques de ce donut (i.e., capture et enrichissement du simulateur DONUT). En parallèle, l'activation des différentes aires cérébrales viendrait partiellement réactiver le simulateur, entraînant la création d'une simulation des caractéristiques usuelles associées au concept DONUT, dont une simulation sensorimotrice de la saisie associée – à savoir une saisie de force – facilitant la réalisation de cette action, ce qui entraîne à son tour l'apparition d'un effet de potentialisation (voir Figure 7).

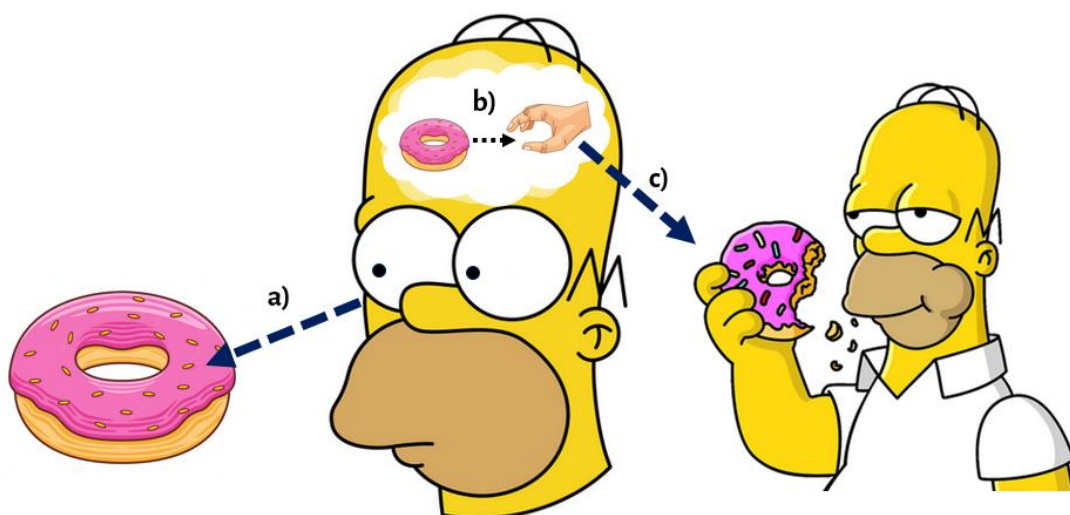


Figure 4. Schématisation des étapes d'apparition d'un effet de potentialisation selon l'approche simulationniste : a) perception d'un stimulus, b) réactivation du simulateur associé au stimulus et création d'une simulation sensorimotrice et c) effet de potentialisation se traduisant par une facilitation à réaliser l'action simulée.

Il est à noter qu'en conséquence, l'effet de potentialisation motrice va être utilisé comme un argument majeur de l'approche simulationniste des connaissances développé par Barsalou (2008a, 2009 ; voir aussi Pecher et al., 2004 ; Borghi & Riggio, 2015 ; pour une revue, voir Matheson et al., 2015) qui sera constamment repris comme une « preuve » de la simulation de composantes motrices. Ainsi, les effets de potentialisation motrice avec des objets vont devenir un socle important de l'approche simulationniste des concepts et plus largement d'une approche incarnée des connaissances.

Synthèse

Pour résumer, différentes conceptions de la cognition et des liens entre perception et action ont été développées au cours des deux derniers siècles. En réaction à une approche cognitiviste qui défend une vision modulaire où l'action est considérée comme le résultat final des opérations cognitives, un ensemble de théories dites « incarnées » ont émergé afin d'en dépasser ses limites. Parmi ces différentes théories, se trouve l'approche simulationniste des connaissances (e.g., Barsalou, 2008a) qui défend que la perception visuelle d'un objet induirait la simulation de diverses caractéristiques assimilées au concept de l'objet, dont le geste associé (e.g., saisie de précision ou saisie de force), faciliterait ainsi la réalisation de ce geste. Cette approche est tout particulièrement supportée par un résultat expérimental : l'effet de potentialisation motrice mis en évidence par Mike Tucker et Rob Ellis dans une série de travaux (Ellis & Tucker, 2000 ; Tucker & Ellis, 2001, 2004). Selon l'approche simulationniste, l'effet de potentialisation s'explique par un accès aux connaissances motrices en mémoire associées à l'objet, sous la forme d'une simulation sensorimotrice, qui faciliterait la réalisation de cette action (ou d'une action très similaire ; Barsalou, 2008, 2009).

Dans le prochain chapitre, nous exposerons différentes critiques faites à ces interprétations des travaux sur l'effet de potentialisation, et plus particulièrement à l'explication simulationniste. Nous verrons ensuite comment cet effet peut être réinterprété au regard de ces critiques.

L'hypothèse du codage de la taille

Pour ce qui est de ce deuxième chapitre, l'objectif est de proposer une réinterprétation de l'effet de potentialisation motrice, ce qui nous permettra d'exposer la problématique qui animera la présente thèse. Pour cela, nous allons d'abord commencer par nous pencher sur les principales critiques apportées à l'interprétation de l'étude de Tucker et Ellis (1998). Nous verrons ensuite comment ces critiques peuvent s'étendre à l'interprétation des travaux d'Ellis et Tucker (2000, Tucker & Ellis, 2001⁷) en tant qu'arguments empiriques en faveur de l'approche simulationniste de la cognition. Nous poursuivrons en présentant plusieurs travaux en faveur d'une interprétation alternative de l'effet de potentialisation, à savoir l'hypothèse du codage de la taille. Enfin, nous concluons ce chapitre par l'exposé de notre problématique quant aux processus sous-jacents à l'apparition d'un effet de potentialisation.

2.1 Les effets de compatibilité stimulus-réponse et l'hypothèse du codage : le cas de l'effet Simon

Nous allons ici nous intéresser aux critiques avancées quant à l'interprétation de l'étude de Tucker et Ellis (1998, pour une revue plus exhaustive des études sujettes à ces critiques, voir Azaad et al., 2019). L'effet de potentialisation tel que présenté par Tucker et Ellis (1998) dépendrait de la relation entretenue entre des caractéristiques de l'action (i.e., la réponse) et des propriétés spécifiques de l'objet (i.e., le stimulus), de fait, nous allons structurer cette section selon deux axes. Dans le premier nous allons nous intéresser à la manière dont le stimulus a pu être manipulé afin de moduler l'effet de potentialisation, tandis que dans le second nous nous pencherons sur la manière dont la réponse a été manipulée.

Pour ce premier axe, nous allons donc nous intéresser plus particulièrement aux études dont le protocole manipule diverses propriétés du stimulus. Dans leur expérience 1, Phillips et Ward (2002) ont repris le protocole de l'expérience 1 de Tucker et Ellis (1998) mais en disposant les objets de telle manière que les parties préhensibles des objets soient orientées soit à l'opposé, soit vers les participants, en plus d'être orientées vers la droite ou la gauche (voir Figure 5). Leurs résultats ont révélé que plus l'objet était présenté longtemps avant que le participant ne doive réaliser une réponse, et plus l'effet de potentialisation était important, ce qui n'est guère cohérent avec l'idée d'une perception directe et

⁷ Les principaux travaux venant critiquer cette approche se concentrant principalement sur l'étude de Tucker et Ellis (2001), nous utiliserons donc cette dernière étude pour la suite de cette thèse lorsqu'il s'agira de faire référence aux travaux portant sur l'effet de potentialisation motrices des gestes de saisies (Voir Proctor & Miles, 2014 ; Matheson et al., 2014).

automatique des affordances. De plus, ces résultats révèlent que l'orientation de la partie préhensible à l'opposé ou vers les participants ne modulait pas l'effet de compatibilité. Là non plus ce résultat n'est guère cohérent avec une implication des affordances puisque la configuration facilitant le plus la saisie n'entraîne pas de temps de réponse plus courts.

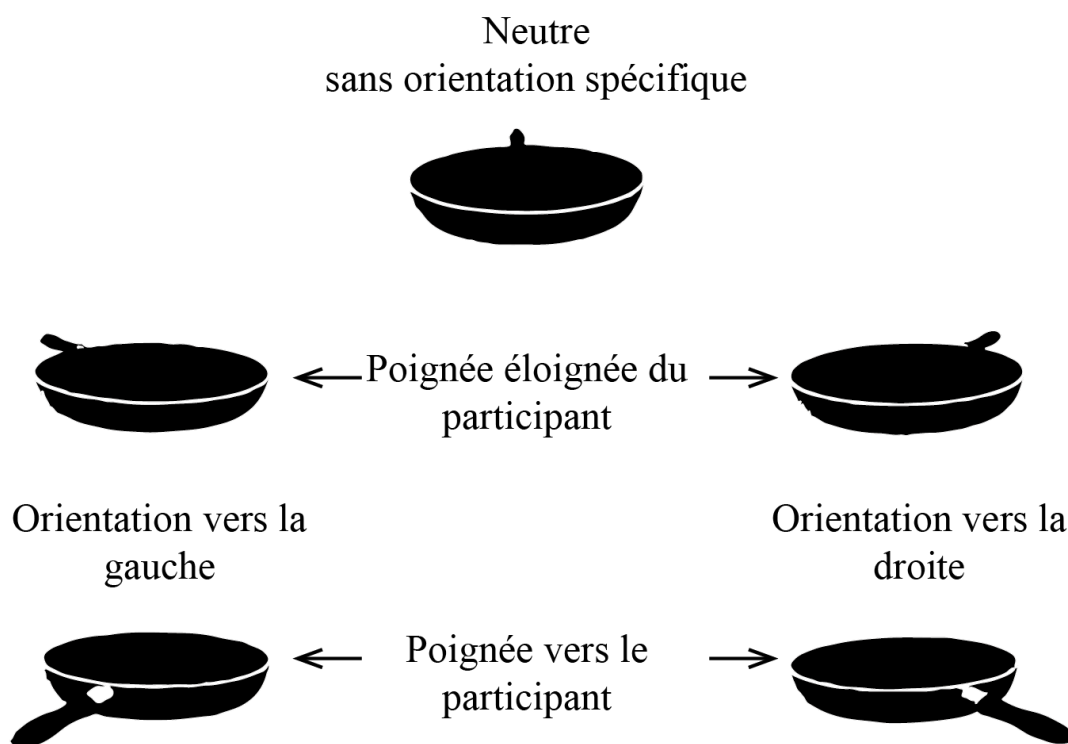


Figure 5. Exemple d'items utilisés par Phillips et Ward (2002). L'item du haut est en position neutre, ceux du milieu sont orientés à l'opposé des participants, et ceux du bas vers les participants.

Toujours dans le registre du positionnement des stimuli, certaines études comme celles de Cho et Proctor (2010, 2013), ou encore celle de Pellicano et al. (2017, 2019, 2020), mettent en évidence le fait que le positionnement de l'objet est à même de provoquer l'apparition d'un effet de potentialisation. En effet, selon si le stimulus présenté est centré sur la globalité de l'objet ou juste sur son corps, la position relative de la partie préhensible va fortement varier. Ainsi, lorsque la partie préhensible est fortement excentrée car le stimulus est centré sur le corps de l'objet, il est possible d'obtenir un effet de compatibilité stimulus-réponse alors que cet effet de compatibilité disparaît quand la localisation de la partie préhensible varie peu car prise en compte dans le centrage de l'objet (voir Figure 6).

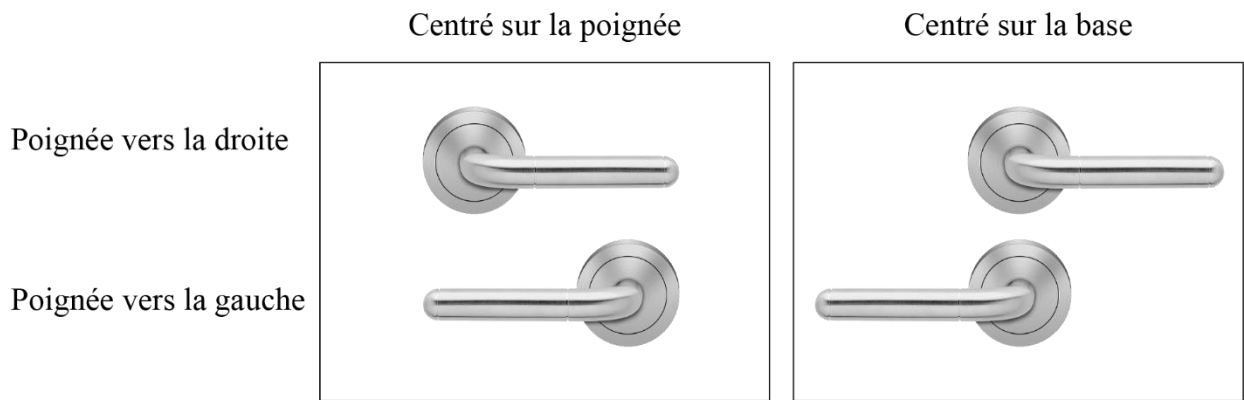


Figure 6. Exemple d'items centrés sur la globalité de l'objet (images de gauche) ou centrés sur le corps de l'objet (images de droite) ; inspirée de Cho & Proctor, 2013.

Ce type de résultats mettant en évidence l'influence de l'asymétrie du stimulus se retrouve dans des études comme par exemple celle de Cho et Proctor (2013). Dans cette étude, les participants devaient effectuer une tâche de jugement de couleurs. La particularité du protocole employé était que les objets présentés étaient des poignées de porte orientées vers la gauche ou la droite, et que la couleur pouvait être disposée sur l'ensemble de l'objet, ou juste sur une partie comme la base ou l'extrémité de la poignée. Les résultats obtenus ont ainsi révélé un effet de compatibilité entre l'orientation de la poignée et la touche de réponse seulement lorsque la couleur était localisée à l'extrémité de la poignée. Des résultats similaires ont été récoltés par Pellicano et al. (2020), Song et al. (2014), Matheson et al., (2014), Proctor et al. (2017), ou encore Xiong et al. (2019) pour n'en citer que quelques uns (pour une revue, voir Proctor & Miles, 2014). Le constat porté par les études décrites dans ce premier axe semble être que l'effet de potentialisation tel que décrit par Tucker et Ellis (1998) serait assimilable à un effet de compatibilité stimulus-réponse sur la base d'une compatibilité de latéralité.

Pour notre deuxième axe, nous allons nous pencher sur quelques études ayant obtenu des effets de potentialisation bien que n'ayant pas employé de réponses (i.e., saisie avec la main) cohérentes avec l'hypothèse des affordances de Tucker et Ellis (1998). La première étude que nous pouvons mentionner est celle de Phillips et Ward (2002) qui ont obtenu des résultats similaires à ceux de Tucker et Ellis (1998) voire plus importants alors que leurs participants ont soit répondu avec les mains croisées dans leur expérience 2 (e.g., la main gauche répondait sur la touche droite), soit répondu avec les pieds pour l'expérience 3 (voire aussi Symes et al., 2008 pour des résultats similaires). Plus précisément, lorsque l'anse de l'objet est orientée vers la droite, cela va favoriser les réponses sur la touche droite, autrement dit, celles réalisées avec la main gauche pour l'expérience 2, et celles réalisées avec le pied droit pour l'expérience 3. Ainsi, dans ces deux expériences Phillips et Wards (2002) observent des effets de potentialisation dépendant non pas de la compatibilité entre la position du stimulus et celle de la main (comme postulée par l'hypothèse avancée par Tucker & Ellis, 1998), mais dépendant plutôt de la compatibilité entre la position de l'objet et

celle de la touche de réponse. De leur côté, Cho et Proctor (2010) ont rapporté des effets de potentialisation comparables, que les participants répondent avec leurs deux mains, ou avec une seule (voir aussi Proctor et al. 2017). A noter que Tucker et Ellis (1998) avaient déjà testé cette configuration unimanuelle dans leur expérience 2, mais n'avaient pour leur part pas observé d'effet de potentialisation. Cependant, à la lumière de la méta-analyse réalisée par Azaad et al. (2019), il semblerait qu'en moyenne l'effet soit similaire en uni ou bimanuel⁸. Le constat de ce deuxième axe est que des réponses pour lesquelles les affordances de saisies ne sont pas impliquées (i.e., réponses avec les pieds, réponses main croisées ou réponses uni-manuelles) peuvent être facilitées en cas de compatibilité entre la localisation de la réponse et la localisation d'un élément saillant du stimulus.

En résumé, que ce soit via une manipulation du stimulus ou via une manipulation de la réponse, les divers travaux que nous venons de présenter semblent montrer que l'explication de Tucker et Ellis (1998) quant à l'effet de potentialisation est contestable. En effet, ces travaux semblent défendre l'idée que l'effet de potentialisation découlerait d'un effet de compatibilité stimulus-réponse proche de celui montré dans l'effet Simon, et non de la perception et du traitement automatique d'affordance. Plus précisément, l'effet Simon (initialement rapporté par Simon & Rudell, 1967), sert à décrire un effet particulier de compatibilité spatiale entre le stimulus et la réponse. Le protocole initialement employé pour mettre en évidence cet effet consiste à présenter aléatoirement deux stimuli (e.g., un rond ou un carré) à gauche ou à droite d'une croix de fixation placée au centre de l'écran. La consigne habituellement donnée est d'appuyer sur l'une des deux touches de réponse – elles-mêmes disposées à gauche ou à droite d'un axe horizontal – en fonction de la forme du stimulus à l'écran. Par exemple, au stimulus rond est associée la réponse sur la touche gauche, tandis qu'au stimulus carré est associée la réponse sur la touche droite. Les résultats généralement obtenus montrent que même si la localisation du stimulus à l'écran n'est pas une information pertinente pour la tâche à réaliser, les réponses sont plus rapides lorsque la localisation du stimulus est compatible avec celle de la touche de réponse (pour des revues de la littérature sur l'effet Simon, voir Lu & Proctor, 1995 ; Hommel, 2011, 2019 ; Proctor, 2011 ; Proctor & Vu, 2006). Une hypothèse quant au processus sous-jacent à l'effet Simon serait que les stimuli, tout comme les réponses, seraient codés selon leur latéralisation relative, à savoir à gauche ou à droite. Ainsi, une similarité de codage entre les stimuli et les réponses d'induirait un effet de compatibilité (Proctor et Miles, 2014).

⁸ Une conjecture, hélas difficilement testable, quant à l'absence de cet effet dans le travail de Tucker et Ellis (1998) puis dans son apparition dans les travaux ultérieurs (e.g., Cho & Proctor, 2010) pourrait tenir dans la démocratisation de l'usage de l'ordinateur à partir des années 2000, et notamment de l'emploi de la souris.

2.2 Réinterprétation de l'effet de potentialisation motrice : un codage de la taille des objets et des réponses

Dans la continuité de la critique de l'étude de Tucker et Ellis (1998), il est possible d'envisager une réinterprétation de l'effet de potentialisation motrice de la saisie révélé par Tucker et Ellis (2001 ; 2004 ; Ellis & Tucker, 2001). Cette idée, déjà évoquée par Proctor et Miles (2014, voir aussi Bub et al., 2018) dans leur revue, s'appuie sur le concept de recouvrement de dimensions de Kornblum et al. (1990, 1995). Selon ce concept, une correspondance entre une dimension du stimulus et une dimension de la réponse est à même de générer un effet de compatibilité. Sur cette base, ils avancent l'idée qu'une correspondance entre la taille des objets et des réponses serait à même d'expliquer l'effet de potentialisation trouvé par Tucker et Ellis (2001 ; Ellis & Tucker, 2000). Pour Proctor et Miles (2014, p. 254), « *la taille est simplement une autre dimension qui entraîne des effets SRC.* »⁹. Cette hypothèse est également avancée par Masson (2015, p. 3) pour qui « *l'effet de congruence sur les temps de réponse [mis en avant par Tucker et Ellis (2001, 2004 ; Ellis & Tucker, 2000)] soit dû à un type de compatibilité plus abstrait (taille), plutôt qu'aux représentations des actions associées aux objets* »¹⁰. Concrètement, il est possible d'envisager qu'un stimulus tel qu'une pomme soit codé comme « grand » tandis qu'un stimulus comme une fraise serait codé comme « petit ». Cela peut s'expliquer par le fait que classiquement, ces stimuli sont présentés aux participants dans des tailles visuelles contrastées avec des ordres de grandeurs correspondants à la réalité. Plus précisément, dans les expériences, une pomme est présentée dans une taille visuelle d'environ 10 cm correspondant à sa taille réelle alors qu'une cerise est plutôt présentée dans une taille visuelle d'environ 3 cm correspondant à sa taille réelle (e.g., Tucker & Ellis, 2001, 2004). En outre, lorsque les protocoles s'emploient à homogénéiser les tailles de présentation des stimuli, il n'est pas exclu que la taille mémorisée des objets soit malgré tout prise en compte. En effet, les participants peuvent posséder une connaissance de la taille réelle des objets, par exemple, ils savent qu'une pomme est plus grande qu'une cerise (e.g., Konkle & Oliva, 2011, 2012).

Concernant les réponses, là aussi il est possible d'envisager que la réponse en saisie de force soit codée comme « grand » et la saisie de précision comme « petit ». En effet, concernant le dispositif lui-même, le bouton à presser pour la saisie de force est accolé à un tube de 11 cm de haut, tandis que celui pour la saisie de précision tenait entre l'index et le pouce (Tucker & Ellis, 2001, 2004 ; Ellis & Tucker, 2000, voir Figure 3). Il existe d'autres dispositifs comme celui par exemple de Girardi et al. (2010) mais dont les dimensions ont des ordres de grandeurs comparables (voir Figure 7). Le nombre de doigts engagés ou la surface de la main sollicitée pourraient aussi induire ce type de codage puisque la saisie de force requiert

⁹ Texte original : « *Size is simply another dimension that yields SRC effects.* » Proctor et Miles (2014, p. 254).

¹⁰ Texte original : « *It is possible that the effect of congruency on response time was due to this more abstract type of compatibility (size), rather than being driven by action representations associated with the objects.* » Masson (2015, p. 3).

l'utilisation de l'ensemble de doigts de la main ainsi que la paume, tandis que seul le pouce et l'index sont employés pour réaliser la saisie de précision.

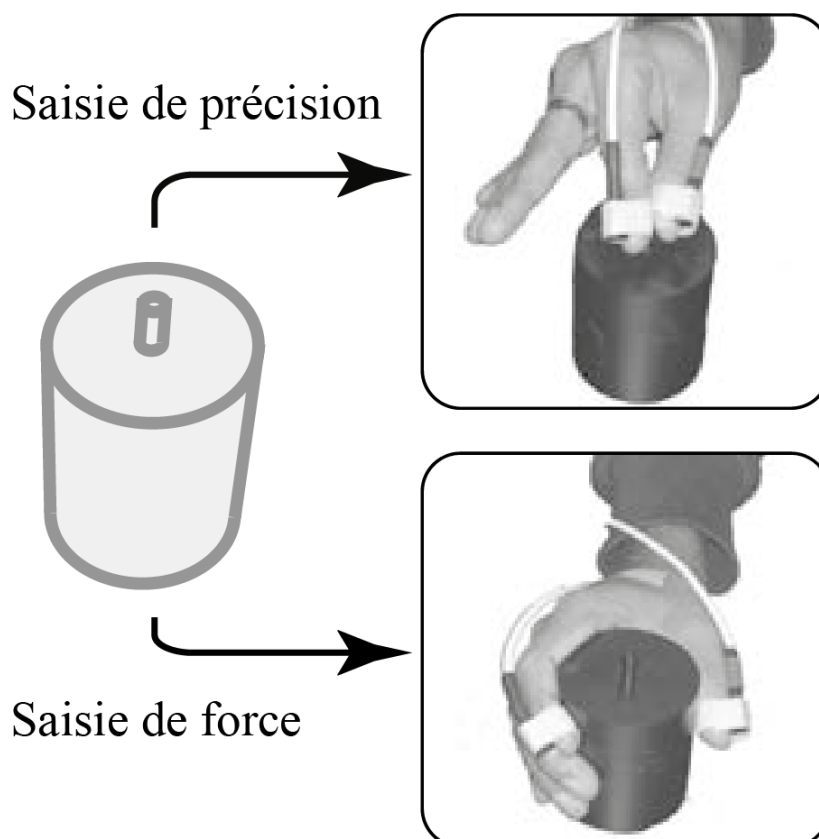


Figure 7. Dispositif de réponse employé par Girardi et al. (2010) avec les gestes de réponse associés.

Ainsi un couplage entre les codes respectifs des stimuli et ceux de la réponse peut s'opérer, non plus sur la base d'une compatibilité de latéralité comme pour l'effet Simon – et vraisemblablement aussi pour l'étude de Tucker et Ellis (1998) – mais plutôt sur une compatibilité de taille. Par exemple, lorsqu'un participant voit une pomme présentée dans une taille visuelle proche de sa taille réelle, il la coderait comme « grand », ce qui faciliterait la réponse compatible, à savoir la réponse en saisie de force car elle-même serait codée comme « grand » du fait de la dimension de la touche impliquée et de la surface tactile impliquée. De la même manière, une fraise serait codée comme « petit » et faciliterait la réponse compatible car codée comme « petit », à savoir la réponse en saisie de précision.

2.3 Les travaux expérimentaux en faveur de cette hypothèse

Cette hypothèse en faveur du rôle de la taille est supportée par des travaux expérimentaux dont les protocoles, bien que se basant sur celui originel de Tucker et Ellis (2001), modifient soit des caractéristiques des stimuli (e.g., HARRAK et al., 2022), soit des caractéristiques de la réponse (e.g., HEURLEY et al., 2020 ; PECHER et al., 2019). Comme pour la précédente section, nous allons maintenant présenter ces deux axes expérimentaux.

Dans ce premier axe, nous allons donc nous pencher sur l'étude de HARRAK et al. (2022) qui s'est intéressé aux caractéristiques du stimulus dans le cadre de l'effet de potentialisation. L'objectif de ces chercheurs a été de confronter l'hypothèse de la simulation motrice à l'hypothèse du codage de la taille selon la taille visuelle dans laquelle étaient présentés les stimuli. Concrètement, pour tester cela, HARRAK et al. (2022) ont utilisé un protocole expérimental inspiré de celui de Tucker et Ellis (2001). Leurs participants devaient catégoriser des images d'objets saisissables selon la coloration appliquée à l'objet en utilisant un dispositif permettant de mimer une saisie de force ou une saisie de précision. Pour l'expérience 1 les images avaient des tailles visuelles contrastées (e.g., une pomme était présentée plus grosse qu'une fraise), tandis que pour l'expérience 2 les images étaient présentées dans des tailles visuelles homogènes (e.g., une pomme avait une taille à l'écran comparable à celle d'une fraise). Les résultats ont montré que l'effet de potentialisation n'apparaissait que dans l'expérience 1, autrement dit, seulement lorsque les images avaient des tailles visuelles contrastées. Ainsi, il semblerait que la présence d'un contraste au niveau de la taille visuelle des objets puisse jouer un rôle dans l'apparition de l'effet de potentialisation, ce qui semble corroborer l'hypothèse du codage de la taille au détriment de celle de la simulation motrice. Un résultat similaire a été obtenu par HEURLEY et al. (en révision) alors que leurs stimuli n'étaient plus des fruits et légumes, autrement dit, des objets saisissables connus, mais des taches colorées.

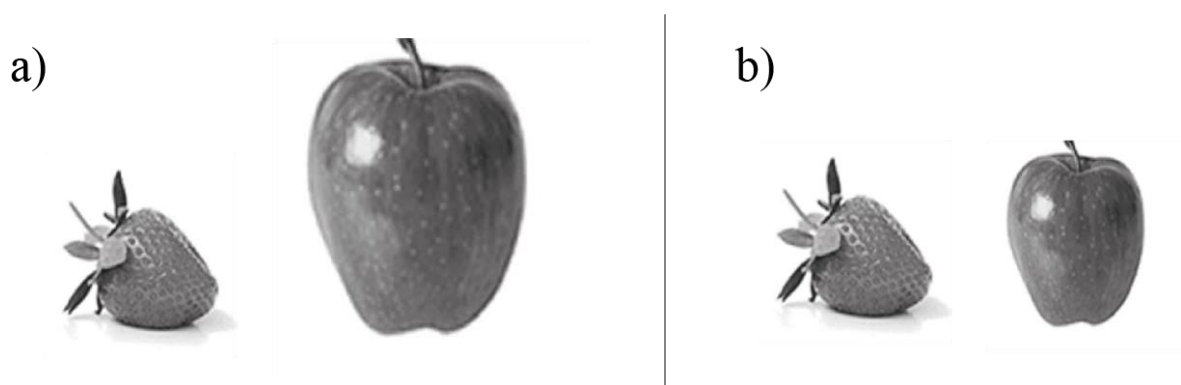


Figure 8. Exemple de stimuli utilisés par HARRAK et al. (2022) dans l'expérience 1 (a) et l'expérience 2 (b).

Le deuxième axe que nous allons maintenant développer va nous permettre de mettre en avant deux études ayant manipulé la réponse afin de confronter l'hypothèse du codage de la taille et celle de la simulation motrice. La première étude est celle de Pecher et al. (2019) dont l'objectif était de tester le caractère automatique de la réponse de saisie telle que défendue par l'hypothèse de la simulation motrice. Le protocole utilisé pour cela est proche de celui de Tucker et Ellis (2004) puisque des images d'objets saisissables étaient présentés et que les participants devaient ensuite les catégoriser selon leur coloration (expérience 1), ou leur catégorie sémantique (i.e., naturel ou artificiel; expérience 2). Cependant, contrairement au protocole habituel, la première phase des expériences était une tâche de go/no-go¹¹ avec seulement une des deux alternatives de réponse à réaliser (i.e., saisie de force ou saisie de précision), tandis que la seconde phase était une tâche à choix double où les deux alternatives pouvaient être effectuées. Les résultats ont révélé un effet de potentialisation pour les phases à choix double, mais pas pour les phases de go/no-go. Le fait qu'aucune facilitation à répondre ne soient présentes durant la tâche de go/no-go malgré la compatibilité de la réponse avec la moitié des stimuli présentés vient contredire la dimension automatique d'une éventuelle simulation motrice. Cela semble suggérer l'idée que la réponse doit pouvoir être contrastée avec une autre à propos de sa taille pour pouvoir être associée à une caractéristique pertinente du stimulus et entraîner un effet de potentialisation ce qui est cohérent avec l'hypothèse du codage de la taille (voir Ansorge & Wuhr, 2004 pour des résultats similaires avec l'effet Simon).

La seconde étude est celle de Heurley et al. (2020). Dans cette étude les participants devaient catégoriser des images de fruits et légumes présentées à l'ordinateur selon la coloration qui leur est appliquée (comme dans le travail d'Harrak et al., 2022). Heurley et al. (2020) avait pour objectif de tester l'idée selon laquelle l'effet de potentialisation ne serait pas dépendant de gestes de saisie. Afin de retirer la composante de saisie de la réponse, et donc empêcher tout effet de potentialisation selon l'hypothèse de la simulation motrice, le dispositif de réponse était disposé à plat devant le participant comme une forme de clavier. Pour les expériences 1 à 3, ce dispositif était similaire à celui classiquement employé, à savoir avec des touches de tailles différentes, tandis que pour l'expérience 4 le dispositif était un clavier modifié dont les touches étaient de même taille (voir Figure 9). Les résultats ont permis de mettre en évidence un effet de compatibilité pour les expériences 1 à 3 mais aucun effet pour l'expérience 4. Plus précisément, lorsque l'objet présenté pouvait être codé comme « grand », les participants répondaient plus rapidement sur la grosse touche en comparaison aux réponses faites sur la petite touche, et inversement pour les objets pouvant être codés comme « petit ». Cependant, lorsque les touches de réponses étaient de mêmes tailles, aucune facilitation n'a pu être observée quant aux réponses. Ces résultats viennent corroborer l'hypothèse du codage de la taille au détriment de celle de la simulation motrice pour deux raisons. Premièrement, par

¹¹ Dans une tâche de go/no-go les participants ont pour consigne de répondre pour un type de stimuli (e.g., rond vert) ce qui correspond à la condition de go, et de ne pas répondre pour un autre type de stimuli (e.g., un carré rouge), ce qui correspond à la condition de no-go.

la présence d'un effet robuste de compatibilité malgré l'absence de geste de saisie et deuxièmement, par le fait que cet effet de potentialisation est assujéti à la possibilité de discriminer les touches selon leur taille.

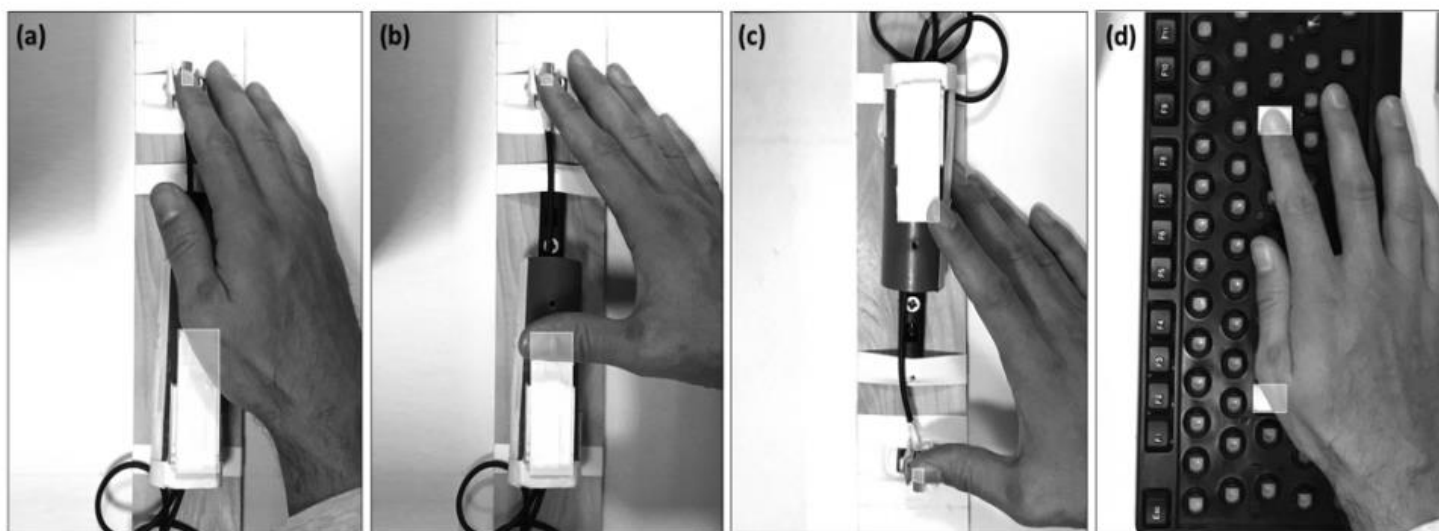


Figure 9. Dispositif de réponse et réponses associées de l'étude de Heurley et al. (2020) : (a) expérience 1, (b) expérience 2, (c) expérience 3, et (d) expérience 4.

En résumé, ces travaux supportent l'idée d'une hypothèse alternative à celle de la simulation motrice pour expliquer l'apparition d'un effet de potentialisation. Cette hypothèse alternative s'appuierait d'une part sur un codage de la taille des stimuli et un codage de la taille des réponses, et d'autre part sur le fait qu'une compatibilité puisse émerger entre ces deux codages.

2.4 La problématique : quels processus permettent de coder la taille des réponses ?

Afin de mieux comprendre les liens entre perception et action, nous avons restreint notre champ de recherche à l'effet de potentialisation (Ellis & Tucker, 2000 ; Tucker & Ellis, 2001, 2004). Bien que l'explication première de cet effet s'appuie sur le traitement des (micro) affordances, l'explication principale aujourd'hui est celle de la simulation motrice (e.g., Barsalou, 2008). Cependant, il semblerait que cet effet puisse aussi s'expliquer par une compatibilité de codage entre le stimulus et la réponse, et plus précisément un codage de taille (e.g., Proctor & Miles, 2014).

Dans cette thèse, notre objectif sera donc d'étayer cette hypothèse du codage de la taille en fournissant de nouveaux éléments empiriques. Plus précisément, nous allons inscrire nos recherches dans

la continuité des travaux de Pecher et al. (2019) et Heurley et al. (2020) qui ont mis l'emphase sur le codage de la réponse. Cependant, bien que ces travaux aient montré la nécessité de pouvoir comparer les réponses entre elles (Pecher et al., 2019), ou encore l'influence de la taille de la touche de réponse (Heurley et al., 2020) dans l'émergence d'un effet de potentialisation; aucune de ces deux études n'a apporté d'explications concrètes quant aux processus sous-jacents au codage de la taille de la réponse. Ainsi, la question centrale de cette thèse est de déterminer la nature des processus engagés dans le codage de la taille des réponses.

Synthèse

Pour résumer ce chapitre, différentes études remettent en question les interprétations de l'effet de potentialisation, que ce soit en termes de micro-affordance ou de simulation motrice. Ces différents travaux semblent converger vers une réinterprétation reposant sur une compatibilité de code entre le stimulus et la réponse, notamment en termes de taille. Pour la présente thèse, nous allons nous focaliser uniquement sur le codage de la réponse afin de mieux comprendre les processus qui lui sont sous-jacents. Dans le prochain chapitre nous développerons donc l'approche idéomotrice de la cognition et plus spécifiquement sa formalisation plus moderne qu'est la Théorie du Codage des Évènements (TEC, Hommel et al., 2001; Hommel, 2009, 2015, 2019) afin d'exposer nos hypothèses de travail.

La magnitude des effets perceptifs

Dans ce dernier chapitre, nous allons nous intéresser plus particulièrement au rôle joué par les effets perceptifs de la réponse dans la réalisation de cette dernière. Pour cela nous nous pencherons dans un premier temps sur l'approche idéomotrice de la cognition puis, dans un second temps, nous présenterons la Théorie du Codage des Évènements (TEC, Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2009, 2015, 2019) qui en est un développement moderne. Le postulat de ces deux approches est que la réalisation d'une action se fait grâce à l'anticipation de ses effets. Enfin, dans un troisième temps, nous nous intéresserons à la magnitude des effets perceptifs, et nous verrons en quoi, à l'instar de la latéralité pour l'effet Simon (Simon & Rudell, 1967 ; Simon, 1969), elle peut être une caractéristique pertinente à prendre en compte pour mieux comprendre et interpréter l'effet de potentialisation.

3.1 Approche idéomotrice de la cognition

Malgré le fait qu'il ait donné aux théories idéomotrices le socle que nous lui connaissons aujourd'hui, William James n'en est pour autant pas le fondateur. En effet, dans son ouvrage de 1890, il rassemble et étend des concepts développés parallèlement en Grande-Bretagne et en Allemagne près d'un demi-siècle avant. Afin de proposer un bref aperçu de cette double influence, nous nous allons nous appuyer principalement sur le travail de Stock et Stock (2004). Les travaux de la branche anglaise, portée par les travaux de Laycock (1845) et Carpenter (1852), s'est principalement intéressée à apporter une explication au phénomène idéomoteur. C'est d'ailleurs Carpenter (1852) qui fût le premier à utiliser le terme « idéomoteur », mais avec cependant un sens plus restreint que celui que nous lui connaissons aujourd'hui. Pour Carpenter, tout comme pour Laycock avant lui, le phénomène idéomoteur serait un réflexe n'apparaissant que dans certain cas de maladie (e.g., l'hydrophobie) ou de situations occultes (e.g., hypnose, pendule) dont le dénominateur commun est une diminution voire même une absence de volonté d'agir de la part du sujet observé. De fait, pour ces auteurs, le phénomène idéomoteur décrirait des actions de l'ordre du réflexe, et donc non-intentionnelles.

Concernant la branche allemande, sa démarche est plus philosophique puisque son objectif est d'expliquer la mise en place d'un comportement volontaire. Tout comme Laycock (1845) les auteurs de cette approche défendent l'existence d'associations bidirectionnelles entre une activité motrice et ses effets perceptifs (Herbart, 1825 ; Lotze, 1852 ; Harleß, 1861). Cependant, pour ces auteurs, ces associations ne sont pas spontanées, elles sont apprises notamment durant la vie intra-utérine et la période néonatale

(Harleß, 1861). De plus, l'utilisation de ces associations se fait de manière active, autrement dit, intentionnelle. Ainsi, pour les partisans de cette approche, le phénomène idéomoteur se déroule en deux temps. Premièrement, une phase d'apprentissage où les mouvements sont réalisés «*pour des raisons purement organiques et indépendamment de l'âme ; et chacun de ces mouvements suscite dans l'âme un certain sentiment*» (Herbart, 1825, p. 467 ; cité par Stock et Stock, 2004, p. 180¹²). La répétition entre un mouvement et ses effets perceptifs va progressivement créer et renforcer une association bidirectionnelle entre eux. Dans un second temps, via le recours à des processus mentaux liés, selon les auteurs, à la motivation, l'âme ou la volonté, le mouvement est déclenché afin d'atteindre un effet perceptif désiré. Cette conception n'est pas sans rappeler certaines théories développementales constructivistes comme celle de Piaget (1937, 1952, 1954, 1967) par exemple.

3.1.1 Théorie Idéomotrice de James

Pour rédiger ses *Principes*, James (1890) a donc repris le terme «idéomoteur» de la branche britannique, mais en délaissant toutefois son aspect réflexe et non-intentionnel au profit de la conception constructiviste de la branche germanique. En effet, à l'instar de Herbart (1825) et Lotze (1852), William James considère que «*les mouvements volontaires sont nécessairement des fonctions secondaires de l'organisme*» (p. 473, 1890, cité par Thébault, 2019, p. 9)¹³, du fait de leur apprentissage. Selon la conception bidirectionnelle défendue par James (1890), la production d'un mouvement est d'abord involontaire dans le sens où ses effets ne sont pas prévus. Par la suite, du fait de répétitions, ces effets éloignés ou locaux («*remote effects*» vs. «*resident effects*»), fourniront la base des idées permettant la réalisation de mouvements volontaires. En faisant cette distinction des effets selon leur proximité perceptive, James (1890) s'éloigne un peu de la conception germanique qui se focalisait presque exclusivement sur la dimension kinesthésique des effets induits par les mouvements du corps (Harleß, 1861 ; Herbart, 1825 ; Lotze, 1852). Ainsi pour James (1890), l'acte idéomoteur repose sur le fait que l'idée (i.e., anticipation) des sensations d'un mouvement (i.e., effets perceptifs) – qu'elles soient éloignées ou (très) locales – suffit à produire la réalisation volontaire de ce mouvement. De plus, comme le souligne Thébault (2019), cet acte idéomoteur revêt pour William James un caractère «furtif» : «*Chaque fois que le mouvement suit sans hésitation et sans délai l'idée que l'on s'en fait dans l'esprit, nous avons une action idéo-motrice.*» (James, 1890, p. 522 ; cité par Thébault, 2019, p. 9)¹⁴. Il apparaît alors souvent difficile d'en reconnaître l'aspect volontaire du fait de l'absence de but

¹² Texte original : «[...] *for merely organic reasons and independently of the soul; and each of these movements elicits a certain feeling in the soul.*» (Herbart, 1825, p. 467 ; cité par Stock et Stock, 2004, p. 180).

¹³ Texte original : «[...] *voluntary movements must be secondary, not primary functions of our organism.*» (James, 1890, p. 473 ; cité par Thébault, 2019, p. 9).

¹⁴ Texte original : «*Whenever movement follows unhesitatingly and immediately the notion of it in the mind, we have ideo-motor action.*» (James, 1890, p. 522 ; cité par Thébault, 2019, p. 9).

verbalisé ou même de prise de décision quant à sa réalisation. Seule la présence des idées des effets de l'action conduirait à la réalisation de l'action. De fait, pour James (1890), l'acte idéomoteur décrit toute une gamme de comportements allant de l'acte automatique (e.g., picorer dans une assiette de fruits, chips ou chocolat selon les affinités individuelles), à des actes plus intentionnels (e.g., sortir de son lit).

3.1.2 Approches expérimentales du principe idéomoteur

De par le contexte introspectif de la psychologie de son époque, James (1890) ne proposera seulement qu'une formalisation philosophique du mécanisme idéomoteur. Du fait de l'écrasant succès du courant béhavioriste et de la vindicte de Thorndike (1913), les mécanismes idéomoteurs vont tomber dans l'oubli pendant un peu moins d'un siècle jusqu'au travaux de Greenwald (1970a, 1970b, 1970c). L'ambition de Greenwald est de fournir une assise expérimentale au concept théorique du processus idéomoteur. Dans sa revue de littérature portant sur l'influence des mécanismes de rétroaction sensorielle (« *sensory feedback mechanisms* ») dans le contrôle de la performance, Greenwald (1970a) accorde une attention toute particulière aux processus idéomoteurs. Il présente notamment différentes études cliniques (Konorski, 1967; Luria, 1966), développementales (Luria, 1961) et physiologiques (Jacobson, 1932; et Max, 1935, 1937), dont les résultats sont, pour lui, plus en accord avec les postulats idéomoteurs qu'avec ceux d'autres théories de son époque. Cependant, comme aucunes des études présentées n'apportent ouvertement de démonstration empirique des processus idéomoteurs, Greenwald (1970b, 1970c) propose un protocole expérimental portant sur la compatibilité Stimulus-Réponse.

En effet, pour lui la compatibilité Stimulus-Réponse faciliterait la sélection de la réponse en diminuant le temps requis pour accéder à l'image (ou idée ou représentation) de la réponse correcte. Sur la base de l'hypothèse que les temps de réaction seraient meilleurs lorsque l'image évoquée (i.e., la réponse à produire) et le sens stimulé (i.e., le stimulus) sont cohérents, Greenwald (1970b, 1970c) expose ses participants à des stimuli auditifs ou visuels et leur demande de réaliser ensuite une réponse écrite ou verbale selon les conditions. En outre, dans l'étude de 1970 c, les participants doivent effectuer leur réponse tout en ignorant un distracteur auditif concomitant. Conformément à ses hypothèses, Greenwald (1970b, 1970c) observe des temps de réactions plus courts dans les conditions de compatibilités (i.e., stimulus visuel – réponse écrite; stimulus auditif – réponse orale), que dans les conditions d'incompatibilité (i.e., stimulus visuel – réponse orale; stimulus auditif – réponse écrite), ainsi qu'une plus grande interférence du distracteur auditif lors de la production de réponses verbales. Ces résultats sont interprétés comme étant des preuves empiriques en faveur des processus idéomoteur.

Il est intéressant de noter que dans sa revue de littérature, Anthony G. Greenwald suggère d'expérimenter le mécanisme idéomoteur avec un protocole en deux phases : « *Une démonstration expérimentale du principe idéo-moteur nécessite deux phases. Dans la phase d'entraînement, une réponse (RA) est*

réalisée en rapport avec un stimulus spécifique (S_1), et des conséquences sensorielles distinctes (S_A) sont expérimentées après la réponse. L'objectif de la deuxième phase, ou phase de test, est de démontrer que le conditionnement de R_A à S_A [...] survient du fait de la répétition de S_1 - R_A - S_A . » (Greenwald, 1970a, p. 88)¹⁵. Toutefois, il ne poursuivra pas dans cette voie car « Une difficulté possible de cette procédure peut provenir de la complexité de nouveaux apprentissages idéomoteurs. L'apprentissage idéomoteur [...] peut très raisonnablement être envisagé comme un processus basé sur des milliers d'expériences d'apprentissage, réparties sur les premières années de l'enfance, pour chacun des principaux mouvements volontaires du corps [...]. Si tel est le cas, il peut être inapproprié de s'attendre à ce que l'apprentissage de nouvelles connexions idéomotrices puisse être observé avec des programmes d'entraînement expérimentaux même ceux impliquant plusieurs heures de pratique. » (Greenwald, 1970a, p.91-92)¹⁶.

Cette procédure en deux phases, illustrée en Figure 14 sera mise en pratique par Hommel (1996) puis Elsner et Hommel (2001) dans le contexte de l'acquisition du lien bidirectionnel Réponse-Effet, et plus globalement, dans le contexte du contrôle de l'action. Durant la première phase du protocole d'Elsner et Hommel (2001), appelée « phase d'acquisition », les participants devaient, suite à l'apparition d'un rectangle blanc à l'écran d'un ordinateur, appuyer le plus rapidement possible sur l'une des deux touches de réponse proposées (i.e., R_A vs. R_B). Leur consigne était de répartir aléatoirement et de manière la plus égale possible leurs réponses sur les deux touches sur l'ensemble de la phase en cours (i.e., tâche de choix libre). Consécutivement à chacune de leurs réponses, un son aigu ou grave (i.e., E_A vs. E_B) était produit en fonction de la touche pressée et du groupe assigné (e.g., R_A - E_A). Dans la seconde phase, « phase test », le son entendu en tant qu'effet dans la phase précédente était alors utilisé comme stimulus (i.e., $S(E)A$ vs $S(E)B$). Les participants devaient ensuite appuyer sur l'une des deux touches de réponses en fonction du son entendu. Pour la moitié des participants la touche à presser était celle qui avait généré ce son lors de la phase d'acquisition (i.e., « *non-reversal group* » : $S(E)A$ - R_A ; $S(E)B$ - R_B), tandis que pour l'autre moitié la touche à presser était celle ayant produit l'autre son (i.e., « *reversal group* » : $S(E)A$ - R_B ; $S(E)B$ - R_A). Conformément à l'hypothèse défendue par les auteurs, les résultats ont montré des temps plus courts et une plus grande occurrence de réponses correctes pour le « *non-reversal group* » comparativement au « *reversal group* ». Les auteurs en concluent que des associations bidirectionnelles se sont spontanément créées entre les réponses et leur effet lors de la phase d'acquisition, et que à la présentation de l'effet

¹⁵ Texte original : « An experimental demonstration of the *ideo-motor principle* requires two phases. In the training phase, a response (R_A) is practiced to a specific stimulus (S_1) and distinctive sensory consequences (S_A) are experienced following the response. The purpose of the second, or test, phase is to demonstrate that conditioning of R_A to S_A [...] has occurred as a result of the S_1 - R_A - S_A practice. » (Greenwald, 1970a, p. 88).

¹⁶ Texte original : « A possible difficulty with this procedure may stem from the difficulty of new *ideo-motor learning*. *Ideo-motor learning* [...] may quite reasonably be conceived as a process that is based on thousands of learning experiences, spread over the early childhood years, for each of the body's basic voluntary movements [...]. If so, it may be inappropriate to expect that learning of novel *ideo-motor connections* may be observed with experimental training regimes involving even several hours of practice. » (Greenwald, 1970a, p. 91-92).

faciliterait la réalisation de la réponse associée. Cependant, il est difficile de soutenir sur la base de ces résultats que l'action est contrôlée par l'image anticipatoire de ses effets. En effet, comme souligné par Wilfried Kunde : « l'amorçage des actions par la perception de leurs effets serait par ailleurs dysfonctionnel puisque la perception des effets d'une action exécutée induirait à nouveau le même comportement moteur, ce qui entraînerait une persévération comportementale. » (Kunde, 2001, p. 387, voir aussi Greenwald, 1970c à propos du problème de la circularité réflexe)¹⁷.

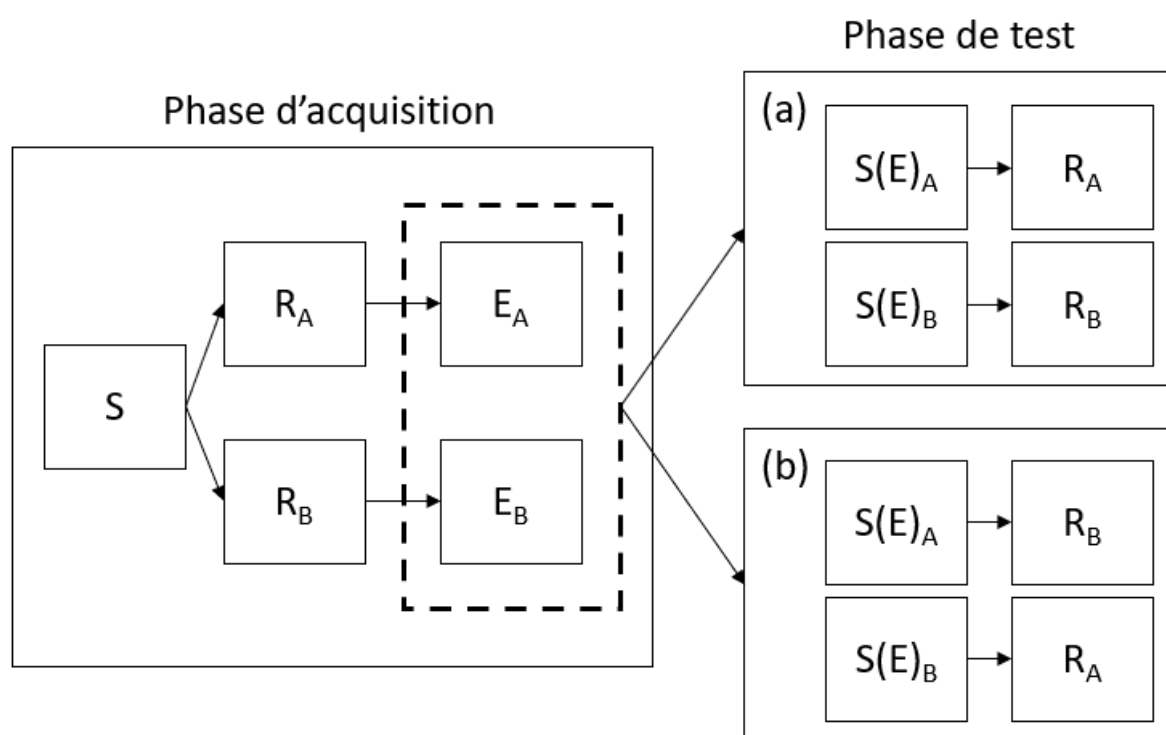


Figure 10. Schéma du protocole en deux phases d'Elsner et Hommel (2001). En phase d'acquisition le stimulus neutre (S) induit les réponses RA et RB qui produisent respectivement les effets EA et EB. En phase de test, les effets EA et EB sont réemployés comme stimuli S(E)_A et S(E)_B. En (a) les réponses à fournir aux stimuli sont celles précédemment associées en phase d'acquisition, en (b) les réponses à fournir sont les réponses opposées.

Afin de mettre en évidence la prise en compte des effets anticipés d'une action, Kunde (2001) a développé un paradigme de compatibilité Réponse-Effet se basant partiellement sur le protocole de la phase d'acquisition d'Elsner et Hommel (2001). Dans son expérience 3, les participants effectuaient une tâche de go/no-go selon la couleur d'un signal apparaissant à l'écran d'un ordinateur. En situation de go (i.e., après un signal vert), les participants devaient réaliser une réponse en choisissant librement

¹⁷ Texte original : « [...] priming of actions by perceiving their effects would even be dysfunctional because the perceived effects of an executed action would induce the same motor pattern again, resulting in behavioral perseveration » (Kunde, 2001, p. 387).

d'appuyer soit fortement sur une touche, soit doucement sur une autre touche. Comme pour Elsner et Hommel (2001), les réponses devaient cependant être aléatoirement et équitablement réparties entre les deux touches de réponses. Pour une moitié de l'expérience, le mapping était dit « compatible » puisque les réponses sur la touche demandant un appui fort étaient suivies par un son fort tandis que les réponses sur la touche demandant un appui léger étaient suivies par un son faible. Pour l'autre moitié de l'expérience, le mapping était dit « incompatible » puisque les associations touche/son étaient inversées. Pour les situations de no-go (i.e., après un signal rouge), les participants ne devaient pas répondre. Conformément à l'hypothèse idéomotrice, Kunde (2001) observe des temps de réponse plus courts en situation de mapping compatible par rapport à une situation de mapping incompatible. Du fait que l'effet auditif n'apparaissait qu'une fois la réponse réalisée, Kunde (2001) interprète cet effet de compatibilité Réponse-Effet comme étant une preuve que les effets d'une réponse sont automatiquement anticipés sous la forme d'une représentation, et que cette représentation influence la sélection de l'action, comme défendu par la théorie idéomotrice.

3.2 Le codage des retours perceptifs : la Théorie du codage des Évènements

Actuellement, la formalisation prédominante des théories idéomotrices est celle de la théorie du codage des événements (TEC pour « *Theory of Event Coding* »). Elle a été proposée par Hommel et al. (2001 puis complétée par Hommel, 2009, 2013, 2015, 2019). L'objectif est de proposer « *un nouveau cadre pour la perception et la planification des actions* » (Hommel et al., 2001, p.849)¹⁸ dont le postulat est que la perception, l'attention, l'intention et l'action partagent un système représentationnel commun. En effet, la TEC repose sur la notion centrale que ces fonctions partagent, ou opèrent, sur un domaine de représentation commun (Hommel et al., 2001)¹⁹. Hommel et al. (2001) se base sur le postulat que la perception et la planification d'action sont des processus fonctionnellement équivalents pour défendre l'idée d'un code cognitif commun. Pour ces auteurs, ces deux processus seraient deux alternatives pour le sujet agent²⁰ de se créer des représentations internes d'évènements externes. En effet, pour Hommel et al. (2001), « *percevoir le*

¹⁸ Texte original : « *Though TEC is meant to provide a new framework for perception and action planning [...]* » (Hommel et al., 2001, p. 849).

¹⁹ A noter toutefois qu'Hommel et al. (2001) précisent que la vocation de la TEC se limite seulement à expliquer les liens entre les produits cognitifs tardifs découlant de la perception (i.e., la mise en place de codes, autrement dit, de représentations) et les processus cognitifs précoces précédents l'action (i.e., la sélection et planification de l'action). De fait, la TEC n'est pas pensée pour expliquer de manière exhaustive l'ensemble des interactions existants entre la perception et l'action. Plus spécifiquement, la TEC ne va s'intéresser ni aux processus sous-tendant la perception, comme l'attention par exemple, ni aux processus liés au contrôle et à la coordination d'une action.

²⁰ Dans l'étude de Hommel et al. (2001, p. 861), les termes utilisés sont « *perceiver/actor* », ce qui implique que l'agent est à la fois le sujet qui perçoit et celui qui agit.

monde est un processus actif d'acquisition d'informations portant sur les relations entre le sujet percevant et son environnement» (Hommel et al., 2001, p. 860)²¹.

L'idée centrale de cette formalisation est que les caractéristiques propres à la perception d'un évènement, ainsi que les caractéristiques propres à la planification motrice de l'action sont représentées grâce à un codage commun abstrait intégré au sein d'un « code d'évènement » (« *event coding* » Hommel et al., 2001). Précisons que l'abstraction pour Hommel et al. (2001) renvoie à la dimension distale de ce codage commun, et ne remet pas en question le caractère incarné et concret du contenu de ces codes. Par dimension distale, par opposition à la dimension proximale, les auteurs de la TEC font références à la nature des informations codées²². En effet, selon eux les codes présents dans le système de codage commun seraient de nature distale car faisant référence à des informations relatives à des caractéristiques de l'environnement externe. Une particularité de ce codage serait que les informations concernées sont multimodales (i.e., obtenues via divers systèmes perceptifs) et peuvent moduler l'activité des systèmes moteurs. La dimension proximale quant à elle renverrait à la nature des informations codées par les systèmes perceptifs et/ou moteurs et qui correspondraient aux activations neuronales de ces systèmes. Par exemple, dans la situation où nous entendrions un chat ronronner, les informations visuelles et les informations auditives liées à la perception du chat et de son ronronnement relèveraient de codages proximaux respectivement opérés par le système visuel et le système auditif. De même, les informations motrices liées à la réalisation d'un geste d'atteinte relèveraient aussi d'un codage proximal, opéré par les systèmes moteurs. Cependant, les informations concernant la localisation du chat, ou encore la tonalité de son ronronnement relèveraient elles d'un codage distal opérés dans le système de code commun puisque ces informations sont acquises par les différents systèmes perceptifs et moteurs. Ces codes du système commun sont ensuite intégrés au sein de codes d'évènements représentant un évènement perçu ou anticipé.

3.3 Le rôle de l'intention

Du fait que chacun des effets perceptifs d'une action soient intégrés dans le codage de la réponse (Hommel, 1993, 1996 ; Pfister, 2019), la TEC met en avant l'aspect intentionnel de l'action en considérant que les effets perceptifs anticipés auront un poids plus important dans ce codage (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 1993, 2011 ; Kunde et al., 2007). Par exemple, dans son étude Hommel (1993) a mis en avant une inversion de l'effet Simon selon si la consigne orientait l'intention des participants sur le fait de réaliser un

²¹ Texte original : « [...] *perceiving the world is a process of actively acquiring information about the perceiver-environment relationship* [...] » (Hommel et al., 2001, p. 860).

²² A noter cependant que Pfister (2019) propose un regard critique sur cette distinction distale/proximale et les implications théoriques qui en découlent.

geste de réponse, ou de produire un effet perceptif spécifique. Concrètement, suite à la présentation d'un son aigu ou grave dans une enceinte placée soit à gauche soit à droite, les réponses étaient réalisées sur des interrupteurs placés à gauche ou à droite. Chacun de ces interrupteurs induisait le clignotement d'une lumière du côté opposé à la réponse (i.e., effet perceptif). Lorsque les participants recevaient l'instruction explicite d'allumer les lumières, un effet Simon dit «inversé» était observé car dépendant de la compatibilité entre la position des stimuli et la position des lumières. Lorsque la consigne ne mettait pas l'accent sur l'activation des lumières, un effet Simon classique (i.e., dépendant de la compatibilité entre la position des stimuli et la position des interrupteurs) était obtenu (pour des résultats convergents sur le rôle des instructions, voir aussi Wang et al., 2007; Eder & Dignath, 2017; Vogel et al., 2020).

Memelink et Hommel (2013) vont expliquer cet effet des instructions par la présence d'un mécanisme de pondération intentionnelle («*intentional weighting*»). Selon ces chercheurs, les caractéristiques relevant des dimensions pertinentes pour la tâche à accomplir – autrement dit, les caractéristiques correspondant au but poursuivi – comme par exemple les caractéristiques liées à la localisation, vont recevoir un poids plus important lors de leur codage. Cette augmentation du poids de certains codes au détriment d'autres va ensuite augmenter la probabilité pour que ces caractéristiques ciblées viennent dominer la représentation cognitive de l'évènement au complet, ce qui affectera ensuite la planification et la sélection de l'action (Memelink & Hommel, 2013, 2005; Hommel, 1993, 1996, 2015, 2019).

3.4 La théorie du codage de la magnitude

Dans le chapitre précédent, nous avons évoqué le fait que l'effet Simon puisse découler d'une compatibilité de latéralité entre le stimulus et la réponse, toutefois, nous n'avons, jusque-là, pas spécifié la nature des processus sous-jacent à cette compatibilité. L'interprétation proposée par la TEC (Hommel et al., 2001; Hommel, 2015, 2019) est que l'effet Simon résulterait d'une compatibilité entre les codes spatiaux associés au stimuli (i.e., droite et gauche) et les codes spatiaux associés aux effets des réponses (i.e., droite et gauche également). Ainsi, lorsque les codes associés aux stimuli et aux effets des réponses sont compatibles, un effet Simon se produirait par rapport à la condition où les codes divergent (pour des résultats expérimentaux en faveur de cette approche, voir Hommel, 1993, 1996; pour une revue, voir Hommel, 2011). De fait, dans cette perspective théorique, le codage des réponses découlerait d'un processus de codage des effets perceptifs des réponses. Il est par conséquent possible qu'un raisonnement analogue puisse être tenu pour rendre compte des processus engagés dans le codage de la taille des réponses et par conséquent, dans l'effet de potentialisation des gestes de saisie. Plus précisément, nous pouvons envisager le fait que les saisies de précision et de force induiraient des effets perceptifs qui pourraient être respectivement codés comme «petit» et «grand», comme par exemple les effets

perceptifs tactiles induits par les différences de surfaces des touches en contact avec la peau de la paume et des doigts.

3.4.1 Le concept de magnitude

Dans cette section nous allons développer le concept de magnitude ainsi que la perspective selon laquelle cette dernière serait une dimension du système de codes communs à même d'induire des effets de compatibilité stimulus-réponse. Avant de développer plus en détails cette hypothèse, il convient de revenir sur l'emploi du terme de taille que nous avons utilisé jusqu'à présent. En effet, sur la base des travaux que nous avons pu citer jusqu'à présent (e.g., Proctor & Miles, 2014 ; Heurley et al., 2020 ; HARRAK et al., 2022), l'interprétation que l'on pourrait avancer quant à un éventuel codage de la taille, irait dans le sens d'un processus restreint aux traitements des informations relatives à la taille visuelle des stimuli et des réponses. Cette interprétation s'appuie notamment sur le fait que les protocoles employés habituellement utilisent des stimuli et des dispositifs de réponses visuellement contrastés (e.g., Tucker & Ellis, 2001 ; Heurley et al., 2020 ; Girardi et al., 2010). Pour notre part, nous pensons que le codage des stimuli, des réponses et de leurs effets se ferait à travers une dimension plus riche en termes de variété de quantités que simplement une taille visuelle, qui utiliserait par exemple des durées, des températures ou des fréquences sonores. Ainsi, en nous appuyant sur l'article de Walsh (2003) nous privilégierons dorénavant le terme de magnitude pour parler de cette potentielle dimension du code commun traitant des quantités.

La théorie de la magnitude proposée par Walsh (2003 ; voir aussi Gallistel & Gelman, 2000 ; Brannon & Roitman, 2003 ; Buetti & Walsh, 2009 ; Leibovich et al., 2017) découle du constat que malgré une grande diversité de recherches menées sur la perception de l'espace, du temps ou encore des quantités numériques, peu de travaux étaient menés sur les interactions et les propriétés communes de ces différentes dimensions. L'objectif de cette théorie est de défendre l'idée que les notions de temps, d'espace et de quantités sont traitées au sein d'un système générique dédié à la magnitude dont le substrat neuronal serait situé dans le cortex pariétal inférieur. D'un point de vue fonctionnel, le cortex pariétal jouant un rôle d'intégration des informations à la fois sensorielles et motrices, ce système de traitement de la magnitude serait, pour Walsh (2003) orienté vers l'action (voir aussi Rossetti et al., 2004 ; Fischer, 2003). Les travaux d'Andres et al., (2004, 2008 ; Lindemann et al., 2007 ; Moretto & di Pellegrino, 2008) viennent appuyer ce postulat en montrant une facilitation à ouvrir la main lorsque l'on traite des chiffres de grande magnitude, et une facilitation à fermer la main lorsque l'on traite des chiffres de petite magnitude. Cependant, Andres et al., (2008) montrent que lorsque l'objectif de la tâche est d'aller saisir un objet, cette interaction entre la magnitude numérique et l'ouverture de la main tend à s'estomper à mesure que la main se rapproche de l'objet pour correspondre à la taille de l'objet perçu (voir Napier, 1960 ;

Jeannerod, 1994 ; Castiello, 2005 pour des études sur le geste de préhension). Les chercheurs en déduisent alors que le traitement de la magnitude influencerait principalement la planification et la programmation de l'action (pour des éléments convergents, voir aussi Badets et al., 2007 ; Ishihara et al., 2008), ce qui viendrait nous conforter dans l'idée que la magnitude puisse être considérée comme l'une des dimensions de la TEC.

Ainsi, nous pouvons formuler l'idée selon laquelle la perception d'un objet va entraîner la construction d'un code de magnitude découlant probablement de la taille visuelle de cet objet, tandis que les gestes de saisie entraîneront la construction d'autres codes de magnitude sur la base de divers effets perceptifs qu'ils produisent (e.g., visuels, tactiles, proprioceptifs). Durant la phase de planification d'une réponse, ces effets perceptifs seront anticipés ce qui permettra l'émergence d'un codage de la magnitude des réponses. C'est la compatibilité entre ces codes de magnitude des effets perceptifs anticipés et les codes de magnitudes des stimuli qui facilitera la réalisation de la réponse, ce qui se traduira de fait un effet de potentialisation.

3.4.2 Les correspondances cross-modales vision/audition

Afin de pouvoir tester notre hypothèse d'un codage de la magnitude des effets perceptifs des réponses, nous avons choisi d'attribuer à nos réponses des effets perceptifs qui ne soient ni visuel, ni tactile. Plus précisément, en nous basant sur des travaux effectués dans le champ des théories idéomotrices et de la TEC (e.g., Elsner et Hommel, 2001 ; Greenwald, 1970a, 1970c ; Hommel, 1996 ; Pieszek et al., 2013 ; Pfister et al., 2011), nous avons pris le parti d'utiliser des effets sonores. Nous avons plus spécifiquement opté pour des sons aigus et graves. Selon les théories sur les correspondances cross-modales, ces tonalités seraient contrastées en termes de magnitude. Plus précisément, le son aigu serait associé à une «petite magnitude» tandis que le son grave serait plutôt associé à une «grande magnitude» (pour une revue de la littérature sur les correspondances cross-modales, voir Parise, 2015). Par exemple, dans l'étude de Gallace et Spence (2006), deux cercles étaient présentés aux participants lors d'un essai. Leur tâche consistait alors à déterminer si le second cercle était de même taille que le premier. La particularité de leur protocole était qu'un son aigu ou grave pouvait être produit en même temps que la présentation du second cercle. Les résultats ont révélé que les temps de réponses étaient plus courts lorsque les sons présentés étaient congruents avec la taille des cercles présentés. Autrement dit, les participants répondaient plus rapidement lorsque le second cercle était plus petit que le premier et qu'un son aigu était produit, ou lorsque le second cercle était plus grand et qu'un son grave était produit par rapport aux conditions inverses (pour des résultats similaires, voir Parise et al., 2008, 2009, 2013, 2015, 2016 ; Walker & Smith, 1985 ; Bien et al., 2012, 2013 ; Spence, 2011 ; Evans & Treisman, 2010). Une telle correspondance cross-modale entre la taille et les fréquences sonores pourrait découler d'une forme d'apprentissage dans la vie

quotidienne des corrélations entre la taille des objets et le type de sons qu'ils produisent (Backus, 2011, Spence, 2011). Parise et Spence (2013 ; voir aussi Evans & Treisman, 2010 ; Spence, 2011) avancent l'idée que le lien entre une taille d'objet et un type de son pourrait venir par exemple de la résonance de l'objet puisqu'un objet grand aura tendance à résonner à des fréquences plus graves qu'un objet petit.

Il est néanmoins à noter qu'il existerait cependant une autre approche des relations entre la fréquence sonore et la magnitude. En effet, il est envisageable que le son aigu soit associé à une grande magnitude alors que le son grave serait plutôt associé à une petite magnitude. Cette approche s'appuie sur l'effet SMARC (i.e., «*Spatial-Musical Association of Response Codes*», en français : «Association Spatio-Musicale des Codes de Réponses») de Rusconi et al. (2006, voir aussi Nishimura & Yoksawa, 2009). Cet effet met notamment en évidence le fait qu'entendre un son aigu faciliterait la production de réponses à droite sur un axe gauche-droite, et en haut sur un axe haut-bas, tandis qu'entendre un son grave aurait un effet inverse. L'association aigu/grand et grave/petit viendrait de la comparaison de l'effet SMARC avec l'effet SNARC (i.e., «*Spatial-Numerical Association of Response Codes*», en français : «Association Spatio-Numérique des Codes de Réponses») selon lequel les grands chiffres faciliteraient les réponses à droite sur un axe horizontal gauche-droite, et en haut sur un axe vertical haut-bas, tandis que les petits chiffres auraient un effet inverse (Dehaene et al., 1993 ; Ito & Hatta, 2004 ; Lidji et al., 2007). Ainsi, le raisonnement serait que si la hauteur des sons et la magnitude des chiffres ont les mêmes sphères d'influence spatiales (i.e., haut et droite pour les sons aigus et les grands chiffres, et bas et gauche pour les sons graves et les petits chiffres), alors la hauteur des sons devrait correspondre à la magnitude des chiffres (Paraskevopoulos et al., 2014). Autrement dit, les sons aigus devraient correspondre aux grands chiffres, et les sons graves aux petits chiffres. Cependant, Rusconi et al. (2006) eux-mêmes indiquaient que «*le fait que la hauteur de la tonalité et l'amplitude du chiffre produisent des effets SRC spatiaux n'implique pas que les nombres et les tonalités suivent des transformations sensorimotrices identiques dans le système cognitif*»²³, ce qui nous incite à la prudence vis-à-vis de cette approche de la magnitude des sons. De plus, une autre limite de l'effet SMARC vient conforter notre réserve quant à cette approche, puisque la version horizontale de cet effet semble circonscrite à une population ayant une expertise musicale (Rusconi et al., 2006 ; Cho et al., 2012 ; Stewart et al., 2013).

3.5 Présentation de notre protocole expérimental

Dans cette dernière section nous allons présenter les grandes lignes du protocole expérimental qui nous a servi de base pour l'élaboration de l'ensemble de nos expérimentations. Comme l'ont relevé Osiurak

²³ Texte original : «*However, the fact that both pitch height and number magnitude produce spatial SRC effects does not imply that numbers and tones follow identical sensorimotor transformations in the cognitive system.*» (Rusconi et al., 2006, p. 126-127)

et Badets (2016, p. 18), il est actuellement difficile d'être certain que, dans les études initiales sur l'effet de potentialisation, ce dernier découle d'une compatibilité entre la réponse motrice et les objets présentés, et non d'une compatibilité entre les effets de l'action et les objets présentés. En effet, selon eux « *le principal problème méthodologique [des études sur] l'effet de la taille de l'objet [(i.e., l'effet de potentialisation)] est que la réponse motrice (saisie de force vs. saisie de précision) – voire les caractéristiques du dispositif (grand cylindre pour les réponses de force vs. un interrupteur tactile fin pour les réponses de précision ; voir Symes et al., 2008) – et l'effet de l'action (petite vs. grande pression) sont systématiquement confondus. Par conséquent, la question est de savoir si la compatibilité est entre la réponse motrice et les objets présentés, ou entre l'effet d'action et les objets présentés* »²⁴. L'objectif poursuivi était donc dans un premier temps de séparer le rôle des réponses motrices de saisies des effets perceptifs qu'elles produisent. Pour cela, nous nous sommes majoritairement inspirés de l'étude de Heurley et al. (2020 ; qui se basait elle-même sur celle de Tucker & Ellis, 2001), notamment pour le fait que leur dispositif de réponse permettait de ne pas utiliser de gestes de saisie. Plus précisément, nous avons repris le protocole de leur quatrième expérience car il s'agissait de la seule expérience dans laquelle les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence un effet de potentialisation. Selon l'hypothèse du codage de la magnitude, cette absence d'effet s'expliquerait par le fait que les touches de réponse ne différaient pas en termes de tailles. Cela nous a donc permis de manipuler les effets perceptifs produits par les réponses, et par conséquent, de tester si la compatibilité entre les stimuli et ces effets pouvait induire un effet de potentialisation (indépendamment à la fois du type de saisie et de la taille des boutons). Concrètement, nous avons ajouté des sons aigu (900 Hz) ou grave (120 Hz) dont la production dépendait des réponses effectuées.

Ainsi, dans ce protocole, les participants devaient positionner leur main dominante sur le dispositif de réponse avec l'index au-dessus d'une touche, et la paume de la main au-dessus de l'autre (voir Heurley et al., 2020 pour une utilisation similaire du dispositif de réponse). Comme indiqué précédemment, les touches étaient de mêmes dimensions afin que les effets perceptifs des réponses induits (au niveau tactile par exemple) soient identiques en termes de magnitude. Un essai, schématisé en Figure 11, commençait avec la présentation d'une croix de fixation. Ensuite, une des images étaient présentée au centre de l'écran. Les objets étaient présentés dans une taille visuelle proche de leur taille réelle (e.g., une fraise était affichée plus petite qu'une pomme) afin, d'une part, de faciliter le codage de ces objets selon leur magnitude, et d'autre part, afin d'être au plus proche possible des protocoles classiques sur l'effet de potentialisation (e.g., Tucker & Ellis, 2001 ; Grèzes et al., 2003). Les objets étaient présentés en nuance de gris durant une durée aléatoire de 200, 400, ou 800 ms avant d'être colorés en bleu ou en orange. Les participants devaient

²⁴ Texte original : “*The major methodological problem of the object-size effect is that the motor response (power vs. precision grip) – if not the characteristics of the device (large cylinder for power responses vs. a thin tactile switch for precision responses; but see Symes et al., 2008) – and the action effect (small vs. large pressure) are systematically confounded. Therefore, the issue is whether the compatibility is between the motor response and the objects presented or between the action effect and the objects presented.*” (Osiurak & Badets, 2016, p. 18)

appuyer sur l'une des touches si l'objet se colorait en bleu, et sur l'autre si l'objet se colorait en orange. Nous avons choisi ce type de tâche afin de tester la possibilité de trouver un effet de potentialisation malgré le fait que la tâche ne nécessite pas obligatoirement un traitement conceptuel des objets à l'opposé d'une tâche de catégorisation sémantique. En effet, Heurley et al. (2020) avaient pu mettre en évidence un effet de potentialisation avec une telle tâche suggérant le caractère automatique des processus de codage. Les délais avant le changement de couleur étaient là pour prévenir une forme d'«automatisation» de la réponse. Enfin, pour conclure un essai, immédiatement et systématiquement après la réponse, un son aigu ou grave était produit en fonction de la touche qui venait d'être pressée. Ainsi, à chacune des touches de réponse un son spécifique était associé, et donc à chaque fois que les participants répondaient en pressant la touche sous leur index ils entendaient un son (e.g., le son grave), et à chaque fois que la réponse était un appui sur la touche sous la paume de leur main ils entendaient l'autre son (e.g., le son aigu).

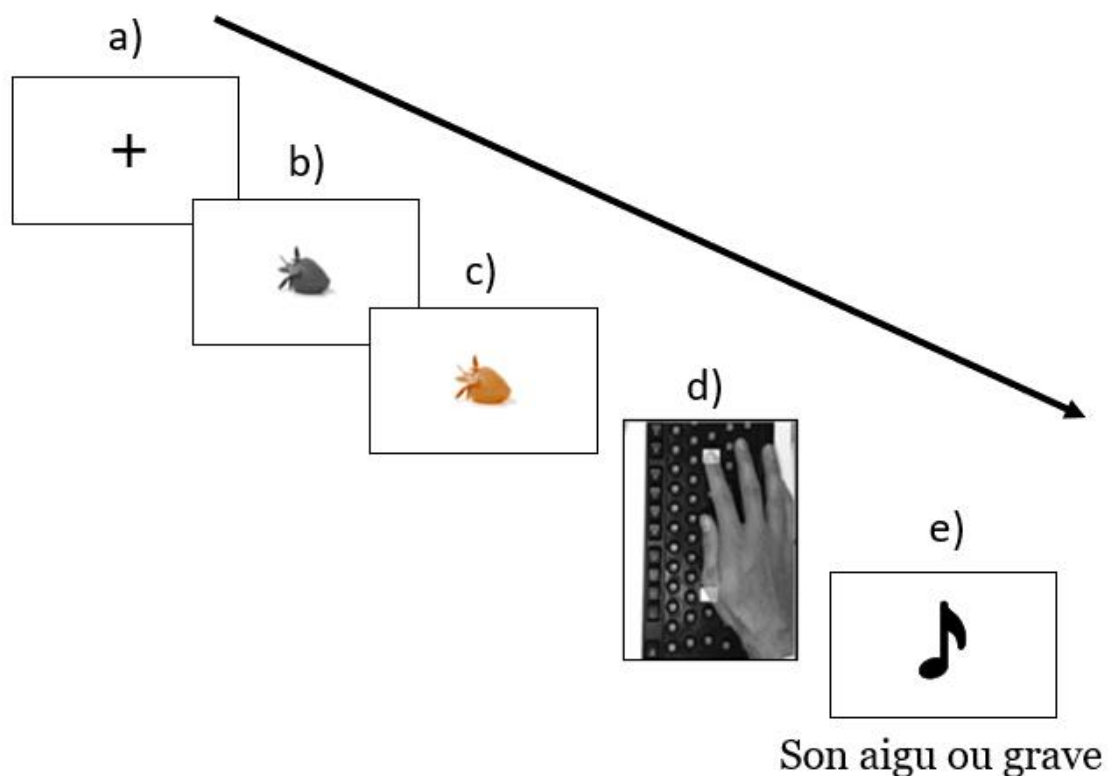


Figure 11. Schéma de notre protocole expérimental de base avec ses différentes étapes : a) apparition d'une croix de fixation, b) présentation d'un objet manipulable en nuance de gris durant 200, 400 ou 800 ms, c) coloration de l'objet en bleu ou orange, d) réponse des participants selon la coloration de l'objet, et e) production d'un son aigu ou grave selon la réponse effectuée.

L'hypothèse principale défendue dans cette thèse est que l'effet de potentialisation découlerait d'une compatibilité de codes de magnitude entre les stimuli et les effets perceptifs induits par les réponses. Cette hypothèse s'appuie sur deux autres sous-hypothèses. Premièrement, un codage de la magnitude des

stimuli devrait se faire sur la base de la taille visuelle des objets (i.e., petit objet vs grand objet). Deuxièmement, un codage de la magnitude des réponses devrait se faire sur la base de la fréquence sonore de leurs effets perceptifs (i.e., son aigu = petit vs son grave = grand). Concrètement, nous nous attendons à ce que la perception de petits objets, comme par exemple une fraise, facilite la réalisation de l'action produisant un son «petit», à savoir un son aigu. Inversement, nous nous attendons que la perception d'objets grands, comme par exemple une pomme, facilite la réalisation de l'action produisant un son «grand», à savoir un son grave. Un tel résultat irait alors à l'encontre de l'hypothèse de la simulation motrice qui défend que ce serait la possibilité de réaliser l'action spécifiquement associée à l'objet qui entraînerait l'émergence d'un effet de potentialisation. En effet, nous montrerions alors que ce ne serait pas l'action en elle-même qui serait importante, mais plutôt les effets perceptifs qu'elle produit. Cela viendrait appuyer à la fois les résultats de Heurley et al. (2020, ainsi que les intuitions de Proctor & Miles 2014, ou encore Matheson, 2015), et les théories idéomotrices (e.g., James, 1890 ; Hommel et al., 2001).

Une autre particularité de notre protocole mérite d'être soulignée. En effet, à l'instar de Kunde (2001), nous n'avons pas inclus de phase d'apprentissage réponse-effet comme cela est régulièrement fait dans les études sur les apprentissages réponse-effet (e.g., Elsner & Hommel, 2001 ; Herwig & Waszak, 2009 ; voir Pfister et al., 2011 pour une étude des phases d'apprentissage dans un contexte idéomoteur). L'objectif était de nous assurer d'une part que, comme stipulé dans la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019), les effets des actions seraient bien intégrés aux réponses puis anticipés, et d'autre part, que la magnitude de ces effets des réponses serait spontanément considérée comme étant une dimension pertinente pour le codage des réponses. De plus, cette absence de phase d'apprentissage avait aussi pour but de garder notre protocole au plus proche des protocoles d'origine rapportant l'effet de potentialisation afin de pouvoir transposer nos conclusions à ces études antérieures. En effet, dans les études Tucker et Ellis (2001, 2004) aucune phase d'apprentissage réponse-effet n'était incluse du fait de l'absence d'intérêt pour les effets perceptifs des actions. Cependant, si les effets de potentialisation mis en évidence dans ces travaux découlaient bien, au moins pour partie, d'une compatibilité de codes de magnitude entre les objets perçus et les effets perceptifs des réponses, cela signifie qu'un apprentissage réponse-effet non volontaire et non conscient devaient se produire incidemment au cours de l'expérience.

Synthèse

En résumé, les théories idéomotrices défendent le postulat qu'une action est réalisée grâce à l'anticipation de ses effets perceptifs. La TEC quant à elle, vient préciser ce postulat en développant l'hypothèse que cette anticipation découlerait d'une part de l'apprentissage d'un lien bidirectionnel entre une action (i.e., une réponse) et les effets perceptifs qu'elle produit, et d'autre part de l'existence d'un système de codage commun. Ce système de codage commun serait alimenté par les informations

recueillies par les systèmes perceptifs et les systèmes moteurs afin de regrouper des codes représentant des dimensions abstraites de la perception et des buts d'un individu, comme par exemple la dimension spatiale gauche ou droite d'un objet que l'on s'apprête à saisir. Ce serait la correspondance entre les codes produits par la perception d'un stimulus et ceux induit par l'anticipation des effets perceptifs d'une éventuelle action qui provoquerait l'apparition d'un effet de compatibilité stimulus-réponse comme par exemple un effet Simon ou, dans le cas qui nous intéresse, un effet de potentialisation. Pour l'effet de potentialisation, nous faisons l'hypothèse que la dimension serait la magnitude. Concrètement, nous défendons l'idée que l'effet de potentialisation découlerait d'une compatibilité entre les codes de magnitude des stimuli et des effets perceptifs anticipés de l'action. La partie suivante sera consacrée au volet expérimental de cette thèse.

Apport Expérimental

La question de recherche posée dans cette thèse est de déterminer dans quelles mesures les caractéristiques perceptives de la réponse influencent l'apparition de l'effet de potentialisation. Dit autrement, notre but est de comprendre comment les effets perceptifs engendrés par une action participent à son codage, et ce afin de déterminer plus précisément la nature des processus engagés dans l'apparition de cet effet. L'approche classique consiste à interpréter cet effet à travers un mécanisme de simulation motrice (Barsalou, 2008, 2009 ; Pecher et al., 2014 ; Borghi & Riggio, 2015 ; Matheson et al., 2015) selon lequel la perception d'un objet va automatiquement provoquer la simulation des expériences antérieures avec cet objet, incluant la simulation des actions associées (i.e., de l'action habituelle). Notre objectif est de venir confronter et remettre en question cette explication. Notre hypothèse principale, fondée sur les travaux menés dans le champ des théories idéomotrices, est qu'une action est réalisée grâce à l'anticipation des effets perceptifs qu'elle va provoquer. Plus précisément, selon la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2009, 2013, 2015, 2019), ce serait l'existence d'un codage commun entre les résultats anticipés d'une action et les caractéristiques d'un stimulus qui serait à l'origine d'un effet de compatibilité stimulus-réponse.

Dans le cas de l'effet de potentialisation, notre hypothèse s'inscrit dans la continuité de celle développée par Heurley et al. (2020 ; voir aussi HARRAK et al., 2022 ; Proctor & Miles, 2014). Ainsi, nous défendons l'idée que l'effet de potentialisation résulterait d'une compatibilité entre le codage de la magnitude des stimuli d'une part, et le codage des réponses sur la base de la magnitude de leurs effets perceptifs anticipés d'autre part. Afin de pouvoir manipuler la magnitude des effets perceptifs des réponses, et donc le codage de ces réponses, nous avons choisi d'utiliser deux sons : l'un aigu (900Hz) et l'autre grave (120Hz). L'hypothèse sous-jacente, basé sur les modèles cross-modaux de la magnitude (Bien et al. 2012 ; Gallace & Spence, 2011 ; Keetels & Vroomen, 2011 ; Parise, 2015 ; Parise & Spence, 2009 ; Parise & Ernst, 2016 ; Parise et al. 2015 ; Spence, 2011 ; Walker & Smith, 1985), est que le son aigu serait codé comme « petit », et que le son grave serait codé comme « grand ». Ainsi, nous nous attendons à ce que des compatibilités quant aux codes de magnitude émergent entre, d'un côté, les objets « grand » et le son grave et, de l'autre côté, entre les objets « petit » et le son aigu d'un autre côté. Ces compatibilités devraient se traduire par l'apparition ou la modulation d'un effet de potentialisation selon les conditions expérimentales.

Néanmoins, certaines études comme celles de Pfister (2019 ; Pfister & Kunde, 2013) ou encore Hommel (1993, 1996), pour n'en citer que quelques-unes, mettent en avant le fait que de multiples effets perceptifs sont produits suite à une réponse. Toujours selon la TEC (Memelink & Hommel, 2013, 2005 ;

Hommel, 2015, 2019), il existerait un mécanisme de pondération intentionnelle permettant d'attribuer une plus grande importance aux codes relevant des caractéristiques pertinentes pour la tâche à réaliser au détriment des codes concernant d'autres caractéristiques. Sur la base de ces différents éléments, nous avons mené trois études faisant chacune l'objet d'un article de recherche dont les objectifs étaient respectivement de se concentrer sur : a) le rôle des effets perceptifs des réponses dans l'apparition d'un effet de potentialisation en cas d'absence de gestes de saisie, b) le rôle des effets perceptifs artificiels dans un protocole d'effet de potentialisation classique (i.e., avec utilisation d'un dispositif de réponse par saisie), et c) le rôle de l'intention dans la prise en compte des effets perceptifs artificiels dans un protocole d'effet de potentialisation classique. Ces études vont maintenant faire l'objet de présentations individuelles dans les sous-sections de cette partie expérimentale. Chaque article sera précédé d'une synthèse regroupant ses principaux points d'intérêts au regard de cette thèse.

Anticipating the magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable objects

Cette section est consacrée à l'article «*Anticipating the magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable objects*» publié en 2021 dans la revue *Psychological Research*. L'article sera disposé dans son intégralité après cette synthèse dont le but est de présenter les éléments importants de l'étude dans un format allégé.

4.1 Objectif et protocole expérimental

L'objectif poursuivi dans cette étude composée de trois expériences était de venir étayer les résultats de Heurley et al. (2020) en faveur de l'existence de processus de codage des réponses comme phénomène explicatif de l'effet de potentialisation. Plus spécifiquement, notre objectif était de déterminer le rôle des effets perceptifs induits par les réponses dans l'apparition d'un codage de ces réponses, et donc dans l'émergence de l'effet de potentialisation. Pour cela, nous avons repris le protocole utilisé dans l'expérience 4 de Heurley et al. (2020) que nous avons légèrement modifié. Concrètement, la tâche à réaliser était une tâche de catégorisation où les réponses se faisaient par une pression de la paume ou de l'index sur des touches de même taille physique. Consécutivement aux réponses, nous avons ajouté la présence d'effets perceptifs sonores : une réponse produisait un son aigu tandis que l'autre produisait un son grave. Par soucis de simplification, nous utiliserons le terme « d'effets post-réponses » pour parler de ces effets sonores.

Pour les deux blocs d'essais qui composaient l'expérience 1, nous avons présenté aux participants des objets généralement manipulés soit avec une saisie de force (i.e., des objets « grand » comme une pomme par exemple), soit avec une saisie de précision (i.e., des objets « petit » comme par exemple une fraise). Ces objets étaient présentés soit en bleu, soit en orange, et la consigne était de catégoriser ces objets selon leur couleur. Les réponses se faisaient soit en pressant l'une des deux touches du dispositif avec l'index, soit en pressant l'autre avec la paume de la main. Directement après la réponse, le son associé était produit (e.g., une réponse avec l'index était systématiquement suivie par un son grave, tandis qu'une réponse avec la paume était systématiquement suivie par un son aigu). Il est à noter que, comme dans les

études de Kunde (2001) ou de Pfister et al. (2014a, 2014b), nous n'avons pas utilisé de phase d'apprentissage pour permettre la construction d'une association réponses/effets afin, d'une part, d'être au plus proche des protocoles de Heurley et al. (2020) et d'Ellis et Tucker (2000 ; Tucker & Ellis, 2001) et, d'autre part, pour nous assurer que ces effets perceptifs étaient automatiquement pris en compte et anticipés.

L'expérience 2 et l'expérience 3 ont été conçues sur la base d'un protocole similaire, avec cependant des variations concernant le second bloc d'essais : pour l'expérience 2, les réponses n'induisaient plus d'effets sonores dans le second bloc, tandis que pour l'expérience 3, les sons produits par chacune des réponses étaient inversés par rapport au premier bloc. Plus précisément pour l'expérience 3, si dans le bloc 1 la réponse avec l'index produisait un son grave, et la réponse avec la paume un son aigu, alors dans le bloc 2 la réponse avec l'index produisait un son aigu, et la réponse avec la paume un son grave. Le fait que le premier bloc soit identique pour chacune des expériences résulte de notre volonté de répliquer les résultats de l'expérience 1.

Notre principale hypothèse était que la compatibilité entre la magnitude perçue des stimuli (i.e., taille des objets), et la magnitude des effets post-réponses (i.e., aigu = « petit » vs grave = « grand ») serait à même d'induire un effet de potentialisation. Cet effet se traduirait par des temps de réponse plus courts lorsque les stimuli et les effets post-réponses anticipés sont de même magnitude, comme par exemple, dans le cas d'une réponse induisant un son aigu réalisée suite à la perception d'un petit objet. Obtenir un tel effet impliquerait qu'il y a bien eu : a) un apprentissage réponse-effet spontané, b) une intégration de leur magnitude dans le codage de la réponse, et c) une anticipation de ces effets post-réponses et de leur magnitude. Pour les expériences 2 et 3 dont l'objectif était de mieux cerner la dynamique entre la perception des effets post-réponses puis leur anticipation en termes de magnitude, nous avons émis des hypothèses plus spécifiques. Pour l'expérience 2, notre hypothèse était que la suppression des effets post-réponses dans le bloc 2 allait entraîner une extinction du codage associé, ce qui devrait se traduire par une disparition de l'effet de potentialisation dans le bloc 2. Pour l'expérience 3, notre hypothèse était que l'inversion des effets post-réponses entre le bloc 1 et le bloc 2 pouvait provoquer un recodage de la réponse et donc inverser l'effet de potentialisation entre les blocs.

4.2 Principaux résultats et discussion

Le principal résultat qui se dégage de l'analyse inter-expérience est la présence d'un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille des stimuli et la magnitude des effets post-réponses, et ce malgré l'absence de geste de saisie. Autrement dit, les temps de réponse étaient plus courts lorsque le stimulus et l'effet post-réponses partageaient un même code de magnitude, comme par exemple une fraise et un son aigu codés tous deux comme « petit ». Il est important de rappeler que,

comme dans l'expérience d'Heurley et al. (2020), les participants avaient seulement à appuyer sur les touches de réponse à l'aide de l'index ou la paume de la main, et ne réalisaient donc pas de gestes de préhension. De fait, nous sommes en mesure d'observer dans cette étude un effet de potentialisation quand bien même les réponses n'incluent pas de composantes de saisie. Ce résultat, en adéquation avec l'hypothèse du codage de la magnitude, vient donc conforter l'idée avancée notamment par Proctor et Miles (2014 ; voir aussi Masson, 2015) et appuyer les résultats obtenus par Heurley et al. (2020), à savoir que l'effet de potentialisation pourrait s'expliquer par « une forme plus abstraite de compatibilité telle que la taille » (Masson, 2015, p. 3).

En outre, ce résultat vient aussi appuyer le fait que, comme stipulé par la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019), les effets post-réponses seraient spontanément appris et anticipés afin d'influencer la réalisation de la réponse, et que cet apprentissage serait relativement rapide puisque l'effet de potentialisation survient au cours des 96 essais du bloc 1. Ainsi, la magnitude pourrait être une des dimensions prise en compte par le système de code commun (pour des études convergentes voir par exemple Kunde, 2001 ; Camus et al., 2018 ; Thébault et al., 2018, 2020). Il est intéressant de noter également que ce résultat vient conforter l'intuition d'Osiurak et Badets (2016) selon laquelle il est difficile d'être certain que l'effet de potentialisation obtenu dans les études initiales découlerait bien d'une compatibilité entre la réponse motrice et les objets présentés, et non d'une compatibilité entre les effets de l'action et les objets présentés.

Parmi les autres résultats obtenus dans cette étude, deux méritent d'être mentionnés dans cette synthèse. Premièrement, dans l'expérience 2, l'effet de potentialisation persiste dans le bloc 2 malgré la suppression des effets post-réponses. Deuxièmement, dans l'expérience 3, l'effet de potentialisation apparaît seulement dans le bloc 1 et ne se retrouve pas dans le bloc 2. Ces résultats pourraient suggérer une certaine plasticité des mécanismes de codage avec une forme de recodage dynamique des réponses. Cependant, ce recodage semble incomplet dans les deux expériences puisque l'effet ne disparaît pas dans le bloc 2 de l'expérience 2, ni ne s'inverse dans le bloc 2 de l'expérience 3, ce qui pourrait suggérer une forme de persistance du codage réalisé dans les blocs 1 qui n'aurait pas eu le temps de s'estomper à travers les 96 essais des blocs 2 (voir Pfister & Kunde, 2013 ; Pfister 2019 ; Yamaguchi & Proctor 2011 pour des réflexions sur le nombre d'essais potentiellement requis).

4.3 Conclusion

En résumé, cette étude nous a permis de mettre en avant le rôle déterminant des effets perceptifs induits par les réponses et de leur anticipation dans l'apparition d'un effet de potentialisation. Plus précisément, cette étude nous permet d'apporter des éléments expérimentaux en faveur d'une compatibilité stimulus-effet basée sur le codage d'une dimension commune qui est ici la magnitude.

Cependant, une limite majeure de cette étude est que les gestes de réponse que nous avons employés ne requéraient pas la réalisation de saisies. En conséquence, même si nous avons pu étayer les travaux de Heurley et al. (2020), et mettre en évidence que ce type de geste n'est pas indispensable à l'émergence d'un effet de potentialisation, la possibilité qu'un processus de simulation motrice soit à l'œuvre quand le geste à réaliser serait similaire à celui associé aux objets présentés reste envisageable (e.g., réaliser une saisie de force suite à la présentation d'une pomme). En effet, sur la base de nos résultats, il est actuellement plausible que le processus de codage de la magnitude et celui de simulation motrice soient tous deux à l'œuvre dans l'émergence des effets de potentialisation. De plus, comme souligné par Pfister (2019 ; Pfister & Kunde, 2013 ; Hommel, 1993, 1996, 2019 ; Hommel et al., 2001), les effets auditifs post-réponses que nous avons manipulé ne sont pas les seuls effets à pouvoir être produits par les réponses et possiblement intégrés au codage de la réponse, et dans le cas de gestes de saisie, il existe de multiples effets qui n'ont, de facto, pas été considérés dans notre étude.

Ainsi une question importante ressort suite à cette première étude : qu'en est-il du rôle des gestes de saisie eux-mêmes et de leurs effets post-réponses dans l'émergence d'un effet de potentialisation classiquement observé ? Dans les sections suivantes, nous nous intéresserons donc plus en détails à la manière dont l'effet de potentialisation se comporte lorsque l'on injecte des effets post-réponses « artificiels » (i.e., expérimentalement manipulés) à un protocole utilisant des gestes de saisie comme réponses.



Anticipating the magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable objects

Ronan Guerineau¹ · Loïc P. Heurley¹ · Nicolas Morgado¹ · Denis Brouillet² · Vincent Dru¹

Received: 29 November 2020 / Accepted: 14 May 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2021

Abstract

Merely seeing large objects (e.g., apples) potentiates power grip whereas seeing small objects (e.g., strawberries) potentiates precision grip. According to the embodied cognition account, this potentiation effect reflects automatic access to object representation, including the grip usually associated with the object. Alternatively, this effect might be due to an overlap between magnitude codes used to code manipulable objects and magnitude codes used to code responses outcomes. In Experiment 1, participants saw objects usually grasped with a power or precision grip and had to press keys either with their forefinger or with their palm, each response generating a low or high tone (i.e., a large vs. small perceptual outcome, respectively). Tones were automatically delivered by headphones after the responses have been made in line with the ideomotor theories according to which voluntary actions are carried out due to the anticipation of their outcomes. Consistent with the magnitude-coding hypothesis, response times were shorter when the object and the anticipated response outcome were of the same magnitude than when they were not. These results were also consistent with a between-experiment analysis. In Experiments 2 and 3, we investigated to what extent removing or switching the outcomes during the experiment influence the potentiation effect. Our results support that the potentiation effect of grasping behaviours could be due to the compatibility between magnitude codes rather than to the involvement of motor representations. Our results also suggest a spontaneous use of the magnitude of response outcomes to code responses, as well as the flexibility of this coding processes when responses outcomes are altered.

Introduction

Understanding perception–action links is one of the major endeavours in cognitive sciences. Advocates of an embodied approach of cognition assume that merely seeing a manipulable object induces automatic access to this object representation. These representations include motor components which could potentiate related motor actions (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007; for a review, see Matheson et al., 2015). Supporting such a view, Ellis and Tucker (2000) and Tucker and Ellis (2001) reported the possibility that perceiving a manipulable object could automatically potentiate related and compatible manual behaviours

such as grasping. More precisely, they have pointed out that the mere perception of manipulable objects usually grasped with a power grip (e.g., an apple) or a precision grip (e.g., a cherry) induces shorter response times (RTs) when participants performed a compatible rather than an incompatible grip with an appropriate device (see also Girardi et al., 2010; Grèzes et al., 2003; Makris et al., 2011; Tucker & Ellis, 2004). This stimulus–response compatibility effect is interpreted through automatic access to the associated representation driven by the perception of the objects. Motor components, as the grip usually performed to interact with the object, are included in these representations (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 1998, 2001). This automatic access to the motor component induces a motor preparation for the proper grip which, in turn, facilitates a compatible grip and/or interferes with an incompatible one (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007).

✉ Ronan Guerineau
ronan.guerineau@wanadoo.fr

✉ Loïc P. Heurley
heurleyloic@yahoo.fr

¹ Laboratoire Sur Les Interactions Cognition, Action, Émotion (LICAE), Université Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France

² Université Montpellier 3, Montpellier, France

Although this interpretation of this potentiation effect¹ of grasping behaviours in terms of an automatic activation of motor components of the object representation (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001) is widespread, an alternative view is possible. This view named the “size-coding hypothesis”, argues that the potentiation effect is due to an overlap between size codes used to code manipulable objects and those used to code responses (Heurley et al., 2020; Masson, 2015; Proctor & Miles, 2014). More specifically, because manipulable objects usually grasped with a power grip are also larger (e.g., visually) than objects usually grasped with a precision grip (e.g., an apple vs. a cherry), they could be coded as “large” and “small”, respectively. Similarly, because power-grip responses were performed on a large switch, and precision-grip responses on a small switch, they could also be coded as “large” and “small”, respectively. It is noteworthy that in all experiments using power- and precision-grip responses, researchers usually used two kinds of devices. The more common device is the one originally used by Ellis and Tucker (2000). It is composed of a large switch pressed with a power-grip and a small switch pressed with a precision grip, both performed with the same hand (see Fig. 1 from Ellis & Tucker, 2000). An alternative device sometimes used is a wooden block composed of a large and a small part, participants being instructed to grasp the large part with a power-grip and the small part with a precision-grip (e.g., Girardi et al., 2010). To sum up, in both cases, responses alternatives differed regarding the size of the targeted component of the device and the size of the effector part used (i.e., power-grip: whole hand vs. precision-grip: two fingers).

A recent study conducted by Heurley et al. (2020) supports this alternative interpretation. In their first experiment, participants saw pictures of manipulable objects usually associated either with a power grip (e.g., an apple) or with a precision grip (e.g., a cherry). These pictures appeared in grayscale during 200, 400, or 800 ms before turning into orange or blue. According to the colour, participants had to press a large switch with the palm of their hand or a small switch with their forefinger. For this colour-discrimination task, Heurley et al. (2020) used a similar device to the one used by Ellis and Tucker (2000), but they putted it

horizontally on the table. They did so to remove the grasping component of responses. Participants were faster to press the large switch when large manipulable objects (e.g., an apple) were presented than when small manipulable objects (e.g., a cherry) were. The reverse was true for responses performed on the small switch. These results were replicated in their Experiment 2 and 3. In their fourth experiment, a similar procedure was used, except that participants had to press two switches of the exact same size (i.e., switches of an AZERTY keyboard) still with the palm or with the forefinger of their dominant hand. In this case, no potentiation effect occurred. Altogether, these results support the idea that manipulable objects usually associated with a power or precision grip can potentiate responses coded as large and small responses due to the size of the switches, even when the grasping component is removed.

In the present paper, we intended to go further and to better define the response features allowing the size coding of the response which leads, in turn, to the stimulus–response compatibility effect. An interesting candidate lies in the perceptual outcomes of the response. Indeed, according to ideomotor theories, people perform actions to reach a particular perceptual outcome (Greenwald, 1970; Harleß, 1861; James, 1890; Lotze, 1852; Pfister & Janczyk, 2012; Prinz, 1997; Stock & Stock, 2004). In other words, people carry out voluntary actions (e.g., pushing a button) precisely because they anticipate their specific outcomes (e.g., lighting a lamp). The hypothesis of the coding of a response through its outcomes is consistent with the interpretation of stimulus–responses compatibility effect provided by the Theory of Event Coding (TEC, Hommel, 1997, 2009, 2013, 2015, 2019; Hommel & Elsner 2009; Hommel et al., 2001). With their two-stage model of the acquisition of voluntary actions, Elsner and Hommel (2001) explained that a bi-directional representation is constructed between an action (i.e., response) and its perceptual outcomes through the first stage. This construction can be attributed to the repetition of numerous co-occurrences of the action (i.e., response) and its outcomes. During the second stage, an action (i.e., response) is selected according to its anticipated outcomes. According to the TEC, these anticipated perceptual outcomes are spatially coded. Thus, stimulus–response compatibility effects could be explained through a match or mismatch between spatial features used to code the stimuli and the responses thanks to their outcomes. For instance, the Simon effect (Simon, 1969) would be due to the use of the left/right dimension to codes both the stimuli (i.e., a visual target located on the left or on the right side of the screen) and the response outcomes (i.e., left or right hand or left or right switch; for a review, see Hommel, 2010).

Thus, considering the evidence for the size-coding hypothesis and the TEC, we assume that merely seeing

¹ The term “potentiation” is usually employed to refer to affordance effects rather than to effects due to a compatibility of codes. Researchers commonly use the “facilitation” to refer to this latter case. But substantially, both concepts describe a similar phenomenon: the advantage in a compatible condition compared to a non-compatible one. Accordingly, in this manuscript, we chose to only use the term “potentiation” (not “facilitation”) that we defined as shorter RTs in the compatible condition than in incompatible one (whatever its possible origin, i.e., affordance or code compatibility).

manipulable objects, whether large (e.g., an apple) or small (e.g., a cherry), can lead to a potentiation effect of a given action as long as the perceptual outcomes of the responses are coded according to their size. We assume that perceptual outcomes of responses could be not only coded along the left–right, up–down, or close–far dimensions as already supported (Hommel, 2010), but also along the size dimensions. However, we believe that the concept of “size” may be too limited to describe the perceptual outcomes of responses. Thus, following Walsh (2003) and Buetti and Walsh (2009), we prefer to adopt the concept of “magnitude”, which is a more general concept allowing to quantify time, space, and quantities. A central prediction of this theory is about the existence of interactions between different types of magnitude, as evidenced by numerous experimental results (e.g., Andres et al. 2004: numerical magnitude processing and grip aperture; Namdar & Ganel, 2015: tone duration and grip trajectories; for a review, see Leibovich et al., 2017). To sum up, we define the magnitude of perceptual outcomes as any kind of perceptual outcomes that can be quantitatively coded, including various contrasts as small/large, weak/strong, thick/thin, or even heavy/light.

This level of generalisation opens up the possibility to employ this approach with perceptual outcomes from various modalities such as vision, audition, touch, or even proprioception. Accordingly, in this paper, we choose to substitute the term “size-coding hypothesis” by the “magnitude-coding hypothesis”, which better captures the idea of compatibility or non-compatibility between various quantity or intensity codes, without being restricted to the physical size only.

To test this magnitude-coding hypothesis, we designed a new experimental procedure based on the one used by Heurley et al. (2020) and those commonly used by the defenders of the TEC (Hommel, 1997, 2009, 2013, 2015, 2019; Hommel & Elsner 2009; Hommel et al., 2001). Our goal was to test whether manipulable objects (usually associated with a power or a precision grip) could potentiate two non-grasping responses when manipulating the magnitude coding of their respective perceptual outcomes. In Experiment 1, we used the procedure originally used by Heurley et al. (2020, Experiment 4) in which participants had to press two keys of the exact same size, with the palm or with the forefinger of their dominant hand. Heurley et al. (2020) did not observe any potentiation effect in this condition, which might suggest that using this protocol guarantees that both responses were not coded according to their magnitude. To artificially induce a magnitude coding of these responses, we arbitrarily chose to manipulate their auditory outcomes by having headphones which delivered a low or a high tone as soon as the participants pressed the

response keys.² We this kind of outcomes because according to cross-modal correspondence models, low and high tones are respectively considered as “large” and “small” outcomes (Bien et al. 2012, 2013; Gallace & Spence, 2011; Keetels & Vroomen, 2011; Parise, 2015; Parise & Spence, 2009; Parise & Ernst, 2016; Parise et al. 2015; Spence, 2011; Walker & Smith, 1984, 1985). Thus, if the coded magnitude of responses comes from the magnitude of perceptual outcomes, the responses inducing a low tone should be coded as “large” while the responses inducing a high tone should be coded as “small”.³

In Experiment 1, participants first saw a large or a small object in grayscale during 200, 400, or 800 ms before it turned blue or orange. As in Heurley et al. (2020), participants had to press one of the two available keys with the palm or the forefinger of their dominant hand depending on the colour of the object. Each key produced a high or a low tone depending on the current mapping. The mapping between keys and tones was counterbalanced between participants. It is noteworthy that, in this experiment, there was no conventional learning phase during which the participants could learn the association between keys and the tones delivered when pressing them because we wanted this learning to be incidental throughout the experiment. We predicted that participants would spontaneously learn and anticipate the association between each key and its subsequent tone (i.e., a response–outcome compatibility, see Keller & Koch, 2006). Then, participants were supposed to code the magnitude of each response depending on its associated tone. Therefore, we predicted an Object Size \times Response Outcome interaction (i.e., a stimulus–outcome compatibility): shorter RTs when the anticipated magnitude of the response outcome (e.g., high tone = small magnitude) and the object size (e.g., strawberry = small object) were compatible than when they were not (e.g., low tone and strawberry). To better investigate the learning of the association between each response and their auditory outcomes, we divided the experiment into two identical blocks.

Several studies suggested that stimulus–response compatibility effect (e.g., the Simon effect) might result from an overlearning of stimulus–responses contingencies in

² As highlighted by Pfister (2019) and Pfister & Kunde, (2013), our artificial auditory outcome was not the only perceptual outcome associated with the responses. There were also various perceptual outcomes that were more intrinsic to the responses (e.g., tactile feedbacks when participants press the key). However, based on Heurley’s et al. (2020) experiments, we hypothesized that this auditory outcome will be enough to induce a stimulus–outcome compatibility.

³ In contrast, the spatial–musical association of response codes (SMARC, Ishihara et al., 2008; Rusconi et al., 2006) suggests an alternative view with low tone coded as “small” and high tone coded as “large”. The current study was not designed to disentangle these approaches.

everyday life and could thus be modulated under particular circumstances (Proctor et al., 2007, 2009; Tagliabue et al., 2000; Yamaguchi et al., 2015). In this vein, we designed Experiments 2 and 3 to better understand the dynamic linkage between the perception and then, the anticipation of outcomes associated with each response and their magnitude coding. To do so, we manipulated the link between each response and their auditory outcome across Blocks 1 and 2. In Block 1 of Experiment 2, headphones delivered the auditory outcomes as soon as the participants responded by pressing one of the two keys as in Experiment 1. In Block 2, we removed the auditory outcomes. Our goal was to investigate whether the response coding that we supposed to occur in Block 1 would persist in Block 2 when perceptual outcomes were no longer available. Experiment 3 followed the same reasoning. In Block 1, headphones delivered the auditory outcomes as soon as the participants responded by pressing one of the two keys as in Experiment 1 and as in Block 1 of Experiment 2. But in Block 2, we reversed the mapping between the responses and their perceptual outcomes (compared to the first block). For instance, if a response induced a high tone in Block 1, it then induced a low tone in Block 2. Our goal was to test whether a “re-coding” of responses could occur across the blocks to better understand the dynamic nature of the coding of the responses according to the dynamic nature of the learned association between each response and their auditory outcomes.

Furthermore, we also conducted a complementary and confirmatory between-experiments analysis with the first block of each experiment, which was designed to be identical, to maximise our chance to detect an Object Size \times Response Outcome interaction due to a broader range of participants. To avoid any influence of previous results, we conducted our experiments simultaneously.

Experiment 1

Methods

Participants

To determine an appropriate sample size to detect the Object Size \times Response Outcome interaction, we conducted an a priori power analysis using G*Power 3 (Faul et al., 2007). The results indicated that a minimum of 24 participants was required to detect an effect size as large as $\eta_p^2 = 0.26$ (or Cohen's $\delta_z = 0.6$) in a within-subject design with 80% statistical power (two-tailed within-subject t test, $\alpha = 0.05$). We selected this effect size because in their between-experiments analysis, Heurley et al. (2020) reported an effect size of $\hat{\eta}_p^2 = 0.37$ for the Object Size \times Response interaction. We

wanted to have a safeguard against a potential overestimation of the effect in their analysis. Thus, we used the lower limit of the 60% CI for η_p^2 [0.26, 0.44] of their effect as suggested by Perugini et al. (2014). To compensate for a possible decrease in sample size following the discarding of outliers, we decided to recruit 28 participants (14 females and 14 males, $m_{\text{age}} = 22.30$, $s_{\text{age}} = 2.83$). They were all student at the University Paris Nanterre, and they reported being right-handers with a normal or corrected-to-normal visual acuity, without colour perception issues (e.g., colour-blindness), and without hearing issues. All participants were naïve to the goal of the experiment. This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017). Participants were volunteers, provided their written informed consent to participate without remuneration, and were debriefed at the end of the experiment.

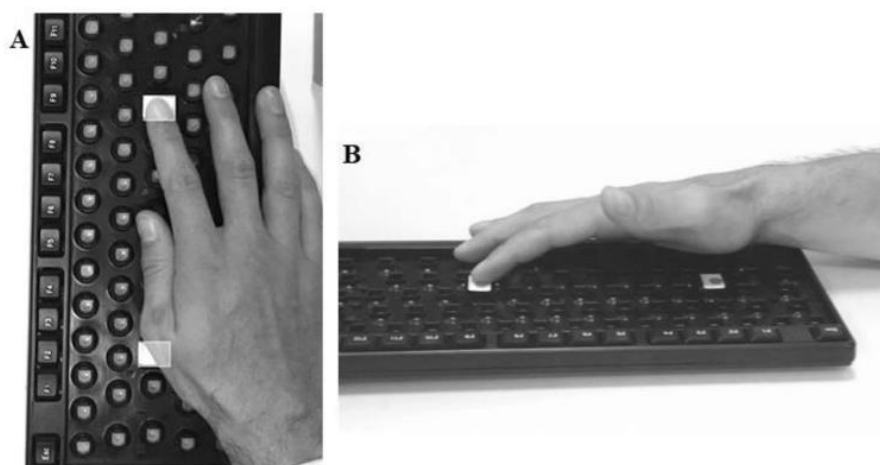
Material and apparatus

Our stimuli were pictures of fruits and vegetables (see “Appendix”): six large ones typically grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon, and pear) and six small ones typically grasped with a precision-grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish, and strawberry). All pictures were presented against a white background and in a visual size matching the real size of the depicted fruits and vegetables (large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm). Three versions of each picture were designed (grayscale, blue, and orange). These pictures were already used by Heurley et al. (2020). We also used the software Audacity[®] to create a high tone (900 Hz) and a low tone (120 Hz) according to frequencies usually used in cross-modal experiments (e.g., Parise, 2015; Parise & Spence, 2008, 2009). The computer sound was set at 10% and participants heard tones through basic headphones. Pictures and tones were both available on-line (see Guerineau et al., 2020). Furthermore, the response device was an AZERTY keyboard whose alphanumeric keys were removed in the response area except the “S” and “L” keys (Fig. 1) on which we placed coloured stickers (blue vs. orange) depending on the mapping assigned to each participant. This device was the same as the one used by Heurley et al. (2020, Experiment 4).

Procedure

The experiment was conducted in a quiet room where each participant sat at 60 cm in front of a screen (size: 23.8”; refresh rate: 60 Hz). It lasted 25 min and started with the signature of a consent form by the participant. The experiment was conducted using E-Prime 2.0 software (Schneider et al., 2002) and was divided into two phases: the preliminary phase and the test phase. The test phase was itself divided

Fig. 1 Experimental device used in all experiments (**A** upside view; **B** lateral view)



into two blocks. Both phases began with an oral presentation of the instructions.

Preliminary phase

The role of this phase was to ensure that participants correctly knew and recognized each fruit and vegetable used as stimuli. First, the 12 stimuli were successively and randomly presented with the name of the fruit or vegetable written below. Participants simply read aloud the name of each stimulus. Then, they had to perform this task again, except that the names were no longer presented below each picture (for a similar procedure, see Bub et al., 2008). Each trial started with a fixation cross presented at the centre of the screen during 500 ms which was followed by the picture that remained on the screen until participants correctly named the depicted object and then pressed the space bar. The next trial began after 1000 ms.

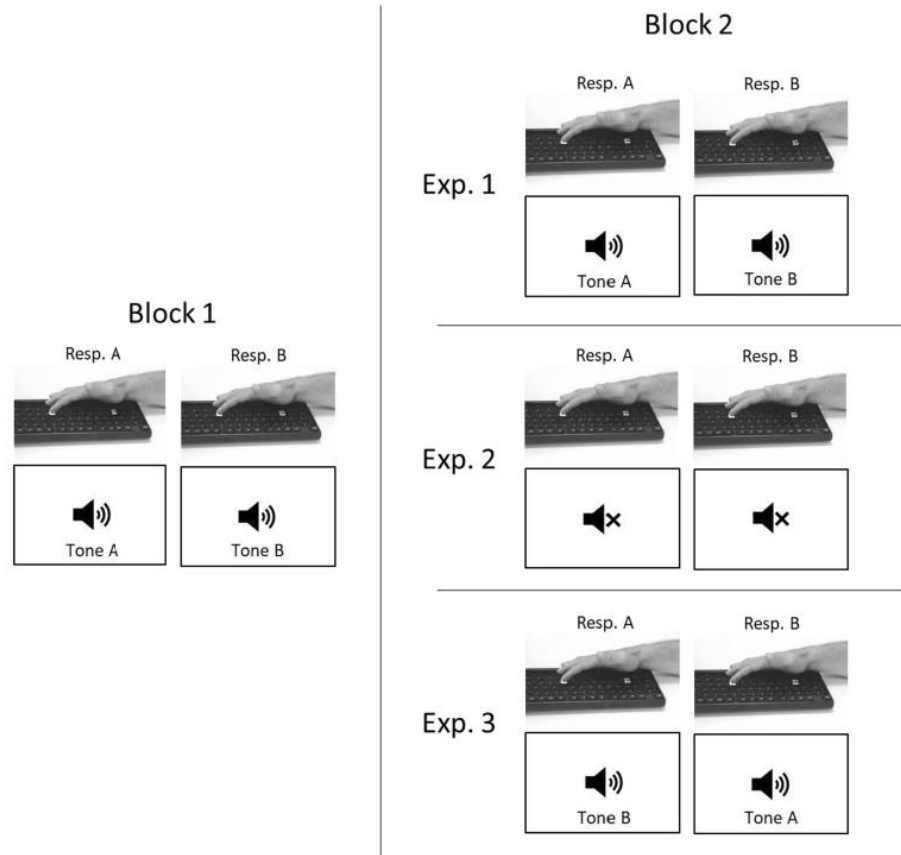
Test phase

During this second phase, each trial started with a fixation cross presented at the centre of the screen during 500 ms. Right after, the picture of the fruit or vegetable first appeared in grayscale. To avoid an automatization of responses, this grayscale picture was presented during either 200, 400 or 800 ms. Then, the stimulus turned orange or blue until the participant responded. The task was to categorize, as quickly and accurately as possible, the colour of the pictures. Participants were instructed to respond with their dominant hand and to press the S-key with their palm for a colour and to press the L-key with their forefinger for the other colour (e.g., S-key for blue vs. L-key for orange; counterbalanced between participants, 14 participants per mapping). It is noteworthy, that (i) the keyboard was put

in front of the participants and (ii) that they used two parts of their dominant hand (i.e., palm and forefinger) to avoid any response coding along the left–right axis (i.e., left vs. right). Indeed, several studies reported a prevalence of such lateral coding (Proctor et al., 2003; Rubichi et al., 2005) that may interact with a magnitude coding. Following the response, a blank screen appeared for 2500 ms. During the first 1000 ms of that blank screen, a low or high tone was delivered according to the previous response. The mapping between response type (i.e., palm vs. forefinger) and tones (i.e., low vs. high) was counterbalanced between participants (i.e., 14 participants per groups). Each mapping group, resulting from counterbalancing between response types, colours, and response outcomes, was composed of seven participants.⁴ After a familiarization phase composed of 24 trials, participants completed 192 trials divided into two blocks for the test phase (8 Stimuli \times 2 Repetitions \times 2 Colours \times 3 Delays \times 2 Blocks). Using two blocks of test trials allowed to assess whether only one block was enough to detect a potentiation effect or whether a second block was required (Fig. 2). Finally, participants completed the 4-item version of the Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014) and a short questionnaire to gather complementary information about possible vision and hearing impairments, feedback about the use of the device, and about participant's guess about the aim of the experiment. It is noteworthy that RTs were defined as the delay between the object colour change and the moment when the participants press the key to respond.

⁴ Thus, there were four mapping groups of seven participants: “forefinger, blue, low tone/palm, orange, high tone”, “forefinger, blue, high tone/palm, orange, low tone”, “forefinger, orange, low tone/palm, blue, high tone”, and “forefinger, orange, high tone/palm, blue, low tone”.

Fig. 2 Schema of associations between responses (Resp. A or Resp. B) and tones (Tones A or Tone B) depending on Block (1 or 2) and Experiment (Exp. 1 or Exp. 2 or Exp. 3). Responses were either a forefinger or palm press. Tones were low or high and occurred during the display of the blank screen. “A” and “B” represent the associations between response and tone



Results

We examined RTs only for the test phase with a repeated measures ANOVA with participant as a random variable and object size (large vs. small objects), block (Block 1 vs. Block 2) and response outcome (low vs. high tones) as fixed within-subjects independent variables. We removed RTs of incorrect trials (1.66% of data) and RTs below 200 ms and above 1200 ms (0.53% of data). We settled our significance threshold at the conventional 0.05 threshold for all our analyses.

The ANOVA revealed a statistically significant main effect of blocks, $F(1, 27) = 4.36$, $p = 0.05$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.14$, with shorter RTs for Block 1 ($m = 446$ ms, $s = 64$) than for Block 2 ($m = 459$ ms, $s = 84$). The ANOVA did not reveal any other statistically significant main effect (object size: $F(1, 27) = 0.20$, $p = 0.66$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.007$; response outcome: $F(1, 27) = 0.19$, $p = 0.66$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.007$).

As predicted, the ANOVA revealed a statistically significant Object Size x Response Outcome interaction, $F(1, 27) = 10.01$, $p = 0.004$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.27$. Planned comparisons showed that RTs for the low tone were significantly shorter

for large objects ($m = 448$ ms, $s = 71$) than for small objects ($m = 460$ ms, $s = 82$), $F(1, 27) = 5.07$, $p = 0.03$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.16$. Conversely, RTs for the high tone were significantly shorter for small objects ($m = 444$ ms, $s = 71$) than for large ones ($m = 458$ ms, $s = 76$), $F(1, 27) = 13.08$, $p = 0.001$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.33$. The Object Size x Response Outcome x Block interaction was not statistically significant, $F(1, 27) = 0.00$, $p = 0.99$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.00$. The Object Size x Response Outcome interaction was statistically significant for Block 1, $F(1, 27) = 6.43$, $p = 0.02$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.19$, and for Block 2: $F(1, 27) = 7.28$, $p = 0.01$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.21$ (Fig. 3). No other interaction was statistically significant. All descriptive data were provided in Table 1 (for raw data see Guerineau et al., 2020).

Discussion

In this first experiment, our goal was to test whether responses inducing perceptual outcomes which could be coded as outcomes of “large” and “small” magnitude, could be facilitated when the size of the target object was compatible. Our results confirmed this hypothesis. Indeed, responding to a large object was facilitated for responses

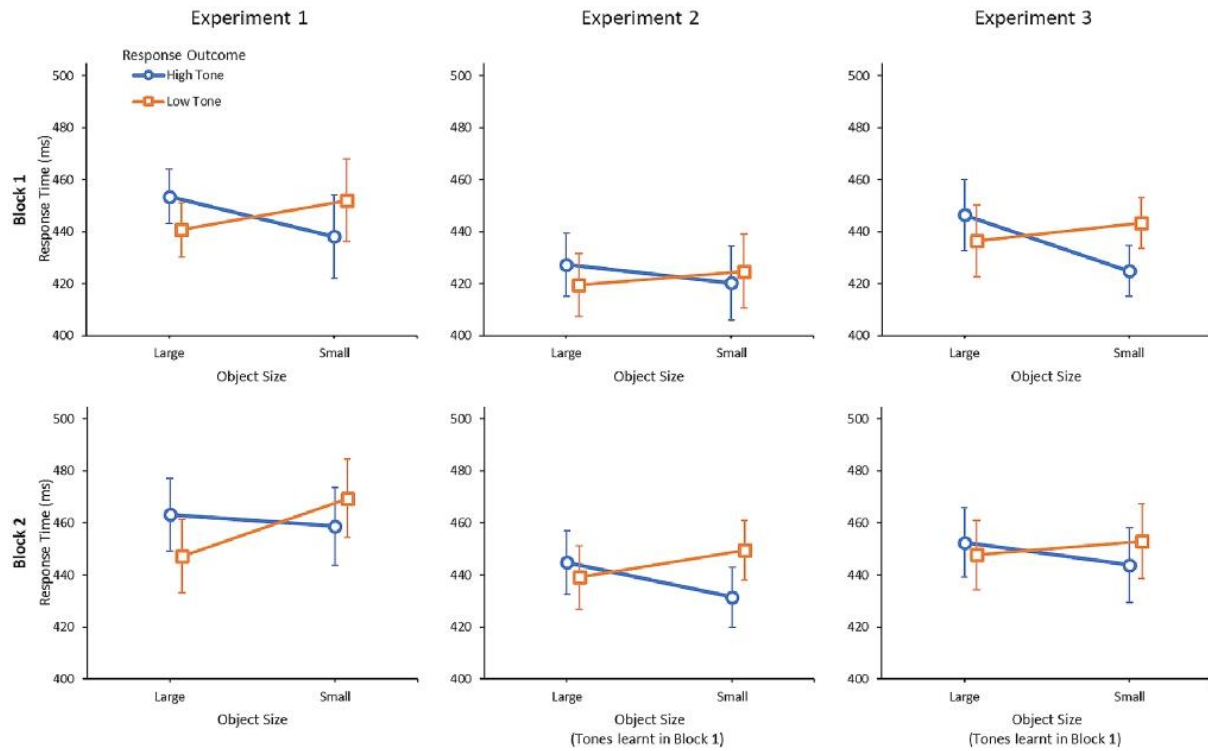


Fig. 3 Mean of response times depending on the experiment (Experiment 1, 2 and 3), the block (Block 1 and 2), the object size (large and small objects), and the tone (high tone and low tone). Error bars represent correlation- and difference-adjusted 95% confidence inter-

vals for the means calculated with WSPLIT for SPSS (O’Brien & Cousineau, 2014; for a standard terminology for SE and CI, see Cousineau, 2017)

Table 1 Mean (m) and standard deviation (s) of response times (ms) according to the experiment (Experiment 1, 2 and 3), the block (Block 1 and 2), the objects size (large and small), and the tones (high and low)

	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>s</i>
Block 1						
Large						
High	454	66	427	43	446	62
Low	438	63	420	39	425	48
Small						
High	441	56	419	39	436	56
Low	452	73	424	47	443	54
Block 2						
Large						
High	463	86	444	53	452	67
Low	459	78	431	50	444	59
Small						
High	447	85	439	53	448	54
Low	469	91	449	48	453	60

which could be coded as “large” (i.e., inducing a low tone meaning a “large” outcome) compared with responses possibly coded as “small” (i.e., inducing a high tone meaning a “small” outcome). We observed a reversed pattern for small objects.⁵ Thus, our results support that objects usually associated with a power or precision grip can potentiate a non-grasping manual response when this response has a compatible perceptual outcome in terms of magnitude. The potentiation effect reported here also suggests that it occurs because participants anticipated the perceptual outcomes and especially its magnitude. Such anticipation can lead, along the experiment, to a magnitude coding of both responses. Furthermore, because such an effect is already noticeable in Block 1, this effect seems to occur relatively quickly. Our results also revealed that RTs in Block 2 were longer than in Block 1. Such a slowdown can probably be interpreted as a fatigue effect.

In Experiment 2, we wanted to go further and tested whether the potentiation effect induced because of the magnitude of response outcomes persisted after removing the outcomes themselves. Therefore, after Block 1 similar to the one in Experiment 1, we removed tones in Block 2 (Fig. 2). Herein, our goal was to better understand the link between (i) the perception and anticipation of response outcomes and (ii) the response coding. We considered two possibilities. First, a coding could occur based on the perception and anticipation of response outcomes but, when it occurs, this coding could become relatively independent from the perception of response outcomes. If it is the case, the coding and the resulting potentiation effect should persist even when we removed the auditory outcomes in Block 2. Second, the perception and anticipation of response outcomes and responses coding could be more tightly coupled so that maintaining the responses coding and the resulting potentiation effect should systematically require to maintain the outcomes. If this second hypothesis is true, the coding should disappear in block 2, as well as the potentiation effect.

Experiment 2

Methods

Participants

Based on the same power analysis conducted for Experiment 1, we again recruited twenty-eight students (17 females and

11 males; all right-handed; $m_{\text{age}} = 20.80$, $s_{\text{age}} = 1.51$) who reported having a normal or corrected-to-normal visual acuity, no colour perception issues (e.g., colour blindness), and no hearing issues. We did not update our power analysis based on the results of Experiment 1 because we started data collection for Experiment 2 before the end of data collection for Experiment 1. All participants were naïve to the goal of the experiment. As in Experiment 1, each mapping group, resulting from counterbalancing between response types, colours, and response outcomes, was composed of seven participants (see Footnote 4). This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017). Moreover, participants provided their written informed consent before participating and were debriefed at the end of the experiment.

Material, apparatus, and procedure

We used the same materials and apparatus as Experiment 1. The procedure was also similar except that we removed the tones delivered when participants responded during the 96 trials of Block 2 (Fig. 2). Participants merely seen a blank screen for 2500 ms without any tones. Participants nevertheless continued to wear the basic headphones. It is noteworthy that there was no break between blocks. Thus, no instructions explicitly drew participants’ attention to the vanishing of tones.

Results

Like in Experiment 1, we measured RTs between the colour changes and participants’ responses. We examined the RTs only from the test phase with a repeated measures ANOVA with participant as a random variable and object size (large vs. small objects), blocks (Block 1 vs. Block 2) and response outcome (low vs. high tones) as fixed within-subjects independent variables. An important issue should be noted here. Indeed, because in Block 2, we removed the tones, it is difficult to name each response according to their associated tones as in Experiment 1. To overcome this issue, we decided to name each response of Block 2 according to their associated tones in Block 1. For instance, if participants heard a low tone when they responded with their forefinger during Block 1, we considered that their responses carried out with their forefinger that in Block 2 was associated to a low tone (even if this tone was no longer presented). We did it based on the idea that if participants coded their forefinger responses in Block 1, the same code should have persisted in Block 2.

As previously, RTs of the familiarization phase and incorrect trials (1.67% of data) were removed, just as RTs below 200 ms and above 1200 ms from analysis (0.18% of data).

⁵ It is noteworthy that these results are consistent with the multimodal coupling (large/low tone vs. small/high tone) already reported by Parise and Spence 2009; 2015, Parise and Ernst 2016) and not the reverse coupling reported by Rusconi et al. (2006). Further studies should address more directly why low and high tones are respectively linked to large and small magnitude, and not the reverse.

Two participants were excluded due to difficulties following the instruction.

The ANOVA revealed a statistically significant main effect of block, $F(1, 25) = 11.33$, $p = 0.002$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.31$. RTs were shorter in Block 1 ($m = 423$ ms, $s = 43$) than in Block 2 ($m = 441$ ms; $s = 50$). As in Experiment 1, this was probably due to a fatigue effect. The ANOVA did not reveal other main effects, either for object size, $F(1, 25) = 0.56$, $p = 0.46$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.02$, or response outcome: $F(1, 25) = 0.02$, $p = 0.89$, $\hat{\eta}_p^2 < 0.001$.

As in Experiment 1, the Object Size x Response Outcome interaction was statistically significant, $F(1, 25) = 6.43$, $p = 0.02$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.20$ (Fig. 3). Planned comparisons showed that low tone RTs were significantly shorter for large ($m = 426$ ms, $s = 46$) than for small objects ($m = 437$ ms, $s = 50$), $F(1, 25) = 6.07$, $p = 0.02$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.20$. For high tone RTs, this difference did not reach the statistical significance threshold, $F(1, 25) = 2.25$, $p = 0.15$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.08$, even if RTs were longer for large objects ($m = 436$ ms, $s = 48$) than for small objects ($m = 429$ ms, $s = 48$). Other interactions were not statistically significant, particularly the Object Size x Response Outcome x Block interaction, $F(1, 25) = 1.33$, $p = 0.26$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.05$. Planned comparisons revealed a statistically significant Object Size x Response Outcome interaction for Block 2, $F(1, 25) = 10.05$, $p = 0.004$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.29$, but not for Block 1, $F(1, 25) = 1.54$, $p = 0.23$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.06$, even if the descriptive statistics are consistent with the presence of an interaction effect (Fig. 3). More precisely, in Block 2 planned comparisons only showed that low tone RTs were significantly shorter for large ($m = 431$ ms, $s = 50$) than for small objects ($m = 450$ ms, $s = 48$), $F(1, 25) = 10.55$, $p = 0.0023 = \hat{\eta}_p^2 = 0.30$. In contrast, this difference did not reach the statistical significance threshold for high tone, $F(1, 25) = 0.96$, $p = 0.40 = \hat{\eta}_p^2 = 0.16$, even if RTs for large objects ($m = 445$ ms, $s = 53$) were longer than for small objects ($m = 439$ ms; $s = 53$). Other comparisons were not statistically significant.

Discussion

Our results showed that even in absence of response outcomes in Block 2, a potentiation effect occurred suggesting that the magnitude coding of the responses was maintained. It is nevertheless noteworthy that the potentiation effect was only statistically significant for responses inducing a low tone. For responses inducing a high tone, the pattern was consistent with a potentiation effect, but it was not statistically significant. Moreover, contrary to our expectations and to the data from Experiment 1, the potentiation effect in Block 1 was not statistically significant, even if there was a coherent pattern. Such a non-significant effect could

be due to an underpowered design or simply because of sampling variability. To overcome this limitation, we conducted a between-experiment analysis, reported below in the “Between-experiment analysis” section and discussed in the “General discussion”.

Our data from Experiment 2 support that when responses were coded according to their perceived and anticipated outcomes, such outcomes did not have to systematically occur to allow the maintenance of the magnitude coding. In Experiment 3, we intended to go further by investigating what happened when introducing competition between opposite codes. Thus, in Experiment 3, after Block 1 identical to those of Experiments 1 and 2, we reversed the mappings between responses and outcomes in Block 2 (Fig. 2). More precisely, if a high tone (or low tone) was delivered when a participant performed a palm response (or a fore-finger response) in Block 1, then a low tone (or a high tone) was delivered when the participant performed the same response in Block 2. Accordingly, the coding induced in Block 2 was reversed compared with the coding induced in Block 1.

This procedure allowed us to confront two alternative hypotheses. On the one hand, the magnitude coding induced during Block 1 could be maintained whatever the change of outcomes during Block 2. If so, we should observe a potentiation effect in Block 1 and a similar potentiation effect in Block 2. Indeed, if participants coded one of their responses (e.g., palm response) as small (i.e., inducing a high tone) in Block 1, this response should be facilitated for small objects. In Block 2, even if the outcome of the same response (e.g., palm response) was reversed (i.e., low tone), this response should nevertheless be facilitated for small objects. Only the magnitude coding from Block 1 should matter, no recoding should occur during Block 2. On the other hand, the association between the response and the auditory outcome learnt during Block 1 could be in conflict with the reversed outcomes in Block 2. Thus, the participants would learn the new association during Block 2 leading to a reversed magnitude coding, and thus a reversed potentiation effect, compared with the one observed in Block 1. More precisely, if participants in Block 1 coded one of their responses (e.g., palm response) as small (because it induced a high tone), this response should be potentiated for small objects. In Block 2, the same response (e.g., palm response) induced the opposite tone (i.e., low-tone) and thus should have been recoded as “large” and should be facilitated for large objects. Because such recoding could be slow, no potentiation effect or a smaller potentiation effect could be also expected (for similar findings with incompatible mapping in the case of stimulus–response compatibility effect, see Proctor et al., 2007, 2009; Tagliabue et al., 2000; Yamaguchi et al., 2015).

Experiment 3

Methods

Participants

Again, considering the power analysis conducted for Experiment 1, we recruited twenty-eight students (8 females and 20 males; all right-handed; $m_{\text{age}} = 20.32$, $s_{\text{age}} = 1.96$) who reported having a normal or corrected-to-normal visual acuity, no colour perception issues (e.g., colour-blind), and no hearing issues. We did not update our power analysis based on the results of Experiment 1 and 2 because we started data collection for Experiment 3 before the end of data collection for Experiment 1 and 2. All participants were naïve to the goal of the experiment. As in Experiment 1, each mapping group, resulting from counterbalancing between response types, colours, and response outcomes, was composed of seven participants (see Footnote 4). This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017). Moreover, participants provided their written informed consent before participating and were debriefed at the end of the experiment.

Material, apparatus and procedure

We used the same materials and apparatus as in Experiment 1. The procedure was also similar except that we reversed the mapping between response outcome (low and high tones) and response (palm response vs. forefinger response) in Block 2 comparatively to Block 1 (Fig. 2). It is noteworthy that there was no break between blocks, thus no instructions explicitly focused participants' attention on the reversed mapping.

Results and discussion

Like in Experiment 1, we measured RTs between the colour changes and participant's responses. We examined the RTs only for the test phase with a repeated measures ANOVA with participant as a random variable and object size (large vs. small objects), blocks (Block 1 vs. Block 2) and response outcome (low vs. high tones) as fixed within-subjects independent variables. To investigate the conflicts between the magnitude coding occurring in Block 1 and magnitude coding occurring in Block 2 were managed, and to investigate the possible persistence of the potentiation effect, we referred to response outcomes of Block 2 as they were learned in Block 1. For example, if a response produced a low tone in Block 1, we still refer to the outcome of this response as low tone in Block 2, even if this response

actually produced a "high tone". We did this because our goal was to investigate how the magnitude coding occurring in Block 1 may have been altered by the reversed association between the responses and the auditory outcomes in Block 2.

As in our previous experiments, RTs of the familiarization phase and incorrect trials (1.78% of data) were removed from the analysis, just as RTs below 200 ms and above 1200 ms (0.46% of data).

The ANOVA did not reveal a statistically main effect of object size: $F(1, 27) = 0.18$, $p = 0.29$, $\eta_p^2 = 0.04$, response outcome: $F(1, 27) = 0.86$, $p = 0.37$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.03$, or block, $F(1, 27) = 3.11$, $p = 0.09$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.10$.

Furthermore, it is very interesting to note that contrary to the Experiments 1 and 2, the ANOVA did not reveal any statistically significant Object Size x Response Outcome interaction, $F(1, 27) = 1.15$, $p = 0.29$, $\hat{\eta}_p^2 = 0.04$ (Fig. 3). The Block x Object Size x Response Outcome interaction was statistically significant, $F(1, 27) = 11.61$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.30$. More precisely, the Object Size x Response Outcome interaction was only statistically significant for Block 1, $F(1, 27) = 12.09$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.31$. Planned comparisons showed that low tone RTs were significantly faster for large ($m = 424$ ms; $s = 48$) than for small objects ($m = 443$ ms; $s = 54$), $F(1, 27) = 15.03$, $p = 0.0006$, $\eta_p^2 = 0.36$. The reverse was true for high tone even if this effect did not reach the significance threshold, $F(1, 27) = 2.18$, $p = 0.15$, $\eta_p^2 = 0.07$, with shorter RTs for small ($m = 436$ ms; $s = 56$) than for large objects ($m = 446$ ms; $s = 63$). Additionally, Object Size x Response Outcome interaction was not statistically significant for Block 2, $F(1, 27) = 1.91$, $p = 0.18$, $\eta_p^2 = 0.07$. Nevertheless, the visual pattern suggests that the potentiation effect followed a similar trend but with a smaller effect size than in Block 1 (Table 1; Fig. 3). In other words, reversing the association between the responses and the auditory outcomes did not seem to have reversed the magnitude coding in this experiment. Implications of these last results are directly discussed in the "General discussion". No other interactions reach the statistical significance threshold.

Between-experiment analysis

Even if data from Experiment 1 and from Block 1 of Experiment 3 convincingly supported that a potentiation effect could result from the perceptual outcomes of responses, this effect was not statistically significant in Block 1 of Experiment 2. Such statistical variability could be due to an underpowered design or simply because of sampling variability. Maybe there were too few trials in Block 1 considering both the variability of RTs and the number of trials needed to learn the association between responses and outcomes

(Forrester, 2015; Yamaguchi et al., 2015). To overcome this limitation and to support our hypothesis more convincingly, we compared RTs for Blocks 1 across the three experiments. At a methodological level, these comparisons could be achieved because these Blocks 1 were designed to be identical for all the experiments. Such a method allows us to strongly increase sample size, increasing, in turn, the power of our research design to detect the Object Size × Response Outcome interaction. Moreover, because we did not expect that the experiment moderates this interaction effect, we also used a Bayesian analysis to strengthen our conclusion.

Methods

In this analysis, we combined the data from Block 1 of each experiment ($n_{full\ dataset} = 82$, $n_{Experiment\ 1} = 28$, $n_{Experiment\ 2} = 26$, and $n_{Experiment\ 3} = 28$). It is nevertheless noteworthy that Blocks 1 of each experiment were perfectly similar (i.e., same instructions, procedure, trials number, objects or even device). Moreover, we used the same data filtering as in the previous analyses.

Results and discussion

The classical frequentist analyses

We examined the data with a mixed-design $3 \times 3 \times 2$ ANOVA with the participant as a random variable, experiment (Experiment 1 vs. Experiment 2 vs. Experiment 3) as a fixed between-subjects independent variable, and object size (large vs. small objects) and response outcome (low vs. high tone) as fixed within-subjects independent variable.

The ANOVA did not reveal any statistically significant main effects either for experiment, $F(2, 79) = 1.55$, $p = 0.22$, $= \hat{\eta}_p^2 0.04$, object size: $F(1, 79) = 0.20$, $p = 0.65$, $= \hat{\eta}_p^2$

0.003, or response outcome, $F(1, 79) = 0.52$, $p = 0.47$, $= \hat{\eta}_p^2 0.007$. As expected, it revealed a statistically significant Object Size × Response Outcome interaction, $F(1, 79) = 16.44$, $p = 0.0001$, $= \hat{\eta}_p^2 0.17$. Planned comparisons showed that low tone RTs were significantly shorter for large objects ($m = 428$ ms, $s = 52$) than for small ones ($m = 440$ ms, $s = 60$), $F(1, 79) = 10.44$, $p = 0.001$, $= \hat{\eta}_p^2 0.12$. Conversely, high tone RTs were significantly longer for large objects ($m = 443$ ms, $s = 60$) than for small ones ($m = 433$ ms, $s = 52$), $F(1, 79) = 8.93$, $p = 0.003$, $= \hat{\eta}_p^2 0.10$. This ANOVA did not reveal any other statistically significant interactions, especially the three-way Experiment × Object Size × Response Outcome interaction, $F(2, 79) = 0.82$, $p = 0.45$, $= \hat{\eta}_p^2 0.02$ (see Table 2 for data of all frequentist analyses).

Among these various effects, it is noteworthy that the lack of evidence for the Experiment × Object Size × Response Outcome interaction, whether at the inferential and descriptive level, is particularly relevant at a theoretical level. Indeed, it suggests a similar compatibility effect in Block 1 for all experiments. Because frequentist analyses are not well suited to quantify the amount of relative evidence for a nil hypothesis (i.e., a null hypothesis predicting an effect size of 0), we conducted a Bayesian analysis to reach a more informed conclusion about the moderating effect of the experiment on the Object Size × Response Outcome interaction.

The Bayesian statistical inference

A lot of criticism has been raised against the hegemonic Null Hypothesis Significance Testing (NHST) framework and the overconfidence placed in p-values since their primary introduction in empirical science (e.g., Fidler, 2018). Some

Table 2 Main effects and interaction effects for frequentist and Bayesian between-experiments analyses including the experiment (Experiment 1, 2 and 3), the objects size (large and small), and the tones (high and low) as independent variables

	The frequentist ANOVA			The Bayesian ANOVA	
	<i>F</i>	<i>p</i>	$\hat{\eta}_p^2$	BF _{excl}	Evidence category
Experiment	$F(2, 79) = 1.56$	0.22	0.04	1.860	Anecdotal
Object size	$F(1, 79) = 0.20$	0.65	0.003	7.965	Moderate
Response outcome	$F(1, 79) = 0.53$	0.47	0.007	5.010	Moderate
Object size × response outcome	$F(1, 79) = 16.44$	0.0001	0.17	0.034	Strong
Experiment × object size	$F(2, 79) = 0.57$	0.57	0.01	12.621	Strong
Experiment × response outcome	$F(2, 79) = 0.18$	0.84	0.005	12.542	Strong
Experiment × object size × response outcome	$F(2, 79) = 0.82$	0.45	0.02	5.790	Moderate

Evidence categories were those proposed by Wagenmakers et al. (2018) to qualify the strength of evidence as null (BF=1), anecdotal (BF=[1, 3]), moderate (BF=[3, 10]), strong (BF=[10, 30]), very strong (BF=[30, 100]), and extreme (BF > 100)

researchers have proposed reforming statistical practices by using frequentist effect size estimation (e.g., Cumming, 2014) or Bayesian statistical inference (Wagenmakers et al., 2018) to overcome the main limitations of NHST. In this paper, we present Bayesian ANOVA conducted with JASP, using the default multivariate Cauchy prior recommended by Wagenmakers et al. (2018; for more technical details, see Rouder et al., 2012).⁶ As the main effect of each independent variable and their interaction were included in more than just one model comparison in the Bayesian ANOVA, we ran a Bayesian Model Averaging (BMA) across matched models to reach a clearer conclusion about the relative probability of each effect of interest (see Mathôt, 2017 for a discussion of the advantages of BMA across matched models over BMA across all models; Wagenmakers et al., 2018). We focused our interpretation on the exclusion Bayes factors (BF_{excl}). We interpreted it as the strength of the evidence supporting the averaged model excluding the existence of a given effect (i.e., the null hypothesis, H_0) relative to the strength of the evidence supporting the averaged model including the existence of this effect (i.e., the alternative hypothesis, H_1).⁷ We used the classification proposed by Wagenmakers et al.

(2018) to qualify this strength of evidence as null ($BF = 1$), anecdotal ($BF = [1, 3]$), moderate ($BF = [3, 10]$), strong ($BF = [10, 30]$), very strong ($BF = [30, 100]$), and extreme ($BF > 100$).

We ran a mixed-design Bayesian ANOVA with the participant as a random variable, experiments (Experiment 1 vs. Experiment 2 vs. Experiment 3) as a fixed between-subjects independent variable, and object size (large vs. small objects) and response outcome (low vs. high tone) as fixed within-subjects independent variable. The analysis revealed that our observed data were 0.034 times (i.e., BF_{excl}) more likely under the averaged model predicting the non-existence of the Object Size \times Response Outcome interaction effect (H_0) than under the averaged model predicting its existence (H_1). In other words, the observed data were 29,41 times (i.e., $BF_{\text{incl}} = 1/0,034$) more likely if the effect exists than if it does not. This result can be interpreted as a strong relative evidence for the existence of the Object Size \times Response Outcome interaction effect, in line with the result of the frequentist analysis. The analysis also revealed that our observed data were 5.79 times (i.e., BF_{excl}) more likely under the averaged model predicting the non-existence of the Experiment \times Object Size \times Response Outcome interaction effect (H_0) than under the averaged model predicting its existence (H_1). This result can be interpreted as moderate relative evidence for the non-existence of the Experiment \times Object Size \times Response Outcome interaction effect. Moreover, the analysis revealed that our observed data were 1.86 times (i.e., BF_{excl}) more likely under the averaged model predicting the non-existence of the main effect of the experiment (H_0) than under the averaged model predicting its existence (H_1). This result can be interpreted as anecdotal relative evidence for the non-existence of the main effect of the experiment (see Table 2 for data of all Bayesian analyses).

These last two results support the idea that our experiments were comparable to each other.

In a nutshell, as expected, the between-experiments analysis revealed a statistically significant potentiation effect for both response outcomes and did not reveal a statistically significant difference between experiments. This absence of the main or moderator effect of the experiment initially suggested by the descriptive statistics and the frequentist ANOVA was moreover supported by the Bayesian analysis. This analysis deeply supports that the association between the object size and the magnitude of response outcomes could lead to a potentiation effect.

General discussion

Our aim was to better define the response features allowing their magnitude coding. We especially investigated the critical role of the perceptual outcomes of the responses.

⁶ The Bayesian analyses performed in JASP rely on sequential sampling methods. Due to the numerical approximation of the algorithm, the resulting BF vary from one analysis to another even if it is conducted on the same dataset in the exact same way. Even if some authors consider this variability to be small (e.g., Goss-Sampson et al., 2020), Pfister (2021) warned that it can be very large in some cases. In JASP, this variability is quantified by the error percentage provided in the right-most column of the full model comparison table (i.e., “error %”). The higher this error percentage the more the resulting BF vary from one analysis to another. This variability partly depends on the number of samples used by the sequential sampling methods. The higher this number of samples the smaller the variability. JASP allows to increase this number of samples by setting the “Numerical Accuracy” (under the “Additional Options” section of the Bayesian ANOVA module) to manual and by choosing the desired number of samples. The default value is 10,000 samples. The results we reported here came from a sequential sampling methods based on the maximum number of samples allowed by JASP (i.e., 10,000,000 samples). The averaged error percentage for all the Bayes Factors computed for the full model comparison was 0.88% ($s = 1.64\%$). This averaged error percentage is very small and indicates that our results should vary only slightly from one analysis to another. Our reported Bayesian analysis focused on the BF_{excl} rather than on all the BF_{01} from the full model comparison. BF_{01} is the ratio between the posterior probability of the data under the null hypothesis (H_0) and the posterior probability of the data under the alternative hypothesis (H_1) and is interpreted as the strength of evidence for H_0 relative to the strength of evidence for H_1 . Even if JASP does not provide error percentage for BF_{excl} , these error percentages should also be small because they are related to the error percentages of the BF from the full model comparison upon which the calculation of BF_{excl} is based.

⁷ Note that the inclusion Bayes Factor (BF_{incl}) reflects the strength of evidence supporting the averaged model including the existence of a given effect (i.e., the alternative hypothesis, H_1) relative to the strength of evidence supporting the averaged model excluding the existence of this effect (i.e., the null hypothesis, H_0). $BF_{\text{incl}} = 1/BF_{\text{excl}}$.

We also wanted to determine whether the potentiation effect of grasping behaviours (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001) can be explained by the undifferentiated use of abstract magnitude codes to code the size of manipulable objects and the magnitude of the perceptual response outcomes. Results of our three experiments supported such magnitude-coding hypothesis as well as the critical involvement of perceptual outcomes of responses. Taken together, our results suggest that manipulable objects elicit a potentiation effect, even when the performed responses are no longer grasping behaviours—compatible or not with presented objects—but mere keypress responses inducing outcomes of variable magnitude. More precisely, when participants pressed a key producing a large outcome (i.e., low tone), shorter RTs occurred when participants responded to large manipulable objects (e.g., an apple) than to small ones (e.g., a strawberry). A reversed pattern was obtained when participants pressed a key which produced a small outcome (i.e., a high tone). This result was supported by each experiment independently as well as by our frequentist and Bayesian between-experiments analyses. These results support the assumptions of Proctor and Miles (2014) and Masson (2015) who argued that “a more abstract type of compatibility (i.e., size)” can explain the potentiation effect of grasping behaviours and extend previous results reported by Heurley et al. (2020).

Altogether, our results have three main theoretical contributions. First, our results support an alternative interpretation of the potentiation effect undermining at the same time the popular embodied view. Second, our results extend the TEC (Hommel, 2009, 2019). Third, our results provide insights into the link between the processing of perceptual outcomes of responses and the coding of responses.

The magnitude-coding hypothesis: a reinterpretation of the potentiation effect

Our results support an alternative interpretation of the potentiation effect. More specifically, in previous experiments reporting a potentiation effect of grasping behaviours (e.g., Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001), a compatibility of “magnitude” codes could have emerged as in our experiments due to the multiplicity of response outcomes involved in the task performed by the participants (Pfister, 2019). Indeed, performing a power grip might automatically induce larger magnitude outcomes (e.g., large tactile, proprioceptive, or visual feedbacks) than performing a precision grip which might induce an automatic smaller magnitude coding of the response. The compatibility between this magnitude coding of the responses and the object size could have led to the potentiation effect

regardless the nature of the performed action (e.g., grasping, touching). Even if our results cannot directly support this hypothesis, the procedures of the previous experiments leave open this possibility.

Future studies should directly investigate whether the potentiation effect of grasping behaviours can be explained only in terms of using common magnitude code or if the motor representations actually contribute to it as argued by the advocates of an embodied view (e.g., Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015).

Regarding this last possibility, paying attention to our unstandardized effect size⁸ is informative. Indeed, our between-experiments analysis showed a potentiation effect of 11 ms, corresponding to a partial eta square of 0.19. Osurak and Badets (2016) summarized the unstandardized sizes of the potentiation effect for 24 effects of the literature, including 19 statistically significant potentiation effect (mean = 16 ms, lmax = 45 ms, and lmin = 0 ms). Compared to such data, our effect size is relatively small. Indeed, some effect sizes reached 45 ms. This difference could be interpreted as the possible involvement, in the original studies, of both magnitude coding of responses (as in the current article) and motor representations (such additional factors could possibly increase the size of the potentiation effect). Nevertheless, this interpretation should be taken cautiously because in the review of Osurak and Badets (2016), six experiments reported an effect size of 10 ms which is consistent with our own estimation of the effect. Thus, even if our effect size is relatively small compared to those from other studies (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001, 2004), the magnitude-coding hypothesis remains a relevant and interesting alternative explanation of the potentiation effect of grasping behaviours. Variations of effect sizes may rather be due to variations at the level of the experimental design or procedure.

Another point is of primary relevance. In our procedure, there was no actual learning phase in which participants could have learnt the association between their responses and an arbitrary perceptual outcome contrary to what is usually done in studies investigating response-effect associations (e.g., Hommel, 2009, 2019; Hommel et al., 2001). During Block 1, participants learnt this association incidentally which means that we cannot be sure that they fully associated the response and their outcomes as we intended, especially for the first trials of the block

⁸ The unstandardized or raw effect size is merely the mean difference between RTs in compatible conditions (e.g., small objects/high tone) and RTs in non-compatible conditions (e.g., large object/high tone) for each participant in our between-experiments analysis.

(for a discussion about the relevant number of trials, see Pfister & Kunde, 2013; Pfister 2019; Yamaguchi and Proctor 2011). Thus, averaging the RTs from all the trials of Block 1 could have led to a smaller effect size than in studies using an actual learning phase. One way to overcome this limitation could be to only consider the last 48 trials of Block 1 when averaging the RTs. However, this method would decrease the number of trials and increase the data variability to some extent that could decrease the statistical power. In spite of that, our incidental learning phase has a major benefit because it ensures a sufficient similarity between our protocol and the ones used in classical studies about the potentiation effect of grasping behaviours. Indeed, if a magnitude coding of the response actually occurred in these studies, it occurred incidentally without the use of a more formal learning phase. Accordingly, our procedure allows to support that the association between responses and their outcomes can be learned and led to a magnitude coding of the response, and then induced a potentiation effect even without a formal learning phase. Furthermore, the fact that we found such effect with only 96 trials (i.e., only Block 1), including the first trials in which the association is undoubtedly not fully effective, strongly supports that any studies reporting a potentiation effect of grasping behaviours, assuming a sufficient number of trials, could involve a magnitude coding of the response.

Contribution of the magnitude-coding hypothesis to the TEC

Additionally, it is noteworthy that our results are also informative beyond the field of the potentiation effect of grasping behaviours. Indeed, the effect reported here can be relevant according to the TEC (Hommel, 2009; Hommel et al., 2001). More specifically, our results support the idea that participants can use the magnitude outcome, among other perceptual features, to spontaneously code their responses. Indeed, previous studies usually show that responses can be coded in terms of various spatial dimensions like the laterality, the verticality, and the proximity (for a recent review, see Hommel, 2019). According to our experiments, we can now add the magnitude dimension to this list. This is consistent with previous studies also reporting a possible magnitude coding. For instance, Kunde (2001, Experiment 2) observed that participants were spontaneously able to map forceful and soft responses with loud and quiet auditory effects, respectively (for converging evidence, see also Camus et al., 2018; Heurley et al., 2020; Thébault, et al., 2018, 2020).

Perceptual outcomes and the coding of responses

Our experiments contribute to the understanding of the link between the processing of perceptual response outcomes and the coding of responses in two important ways. First, Experiment 2 suggested that after a short learning phase in which the magnitude response coding emerged (Block 1), the potentiation effect could persist despite the absence of the outcomes (Block 2). This result supports that at least during the 96 trials of Block 2, the magnitude coding was still present. Nonetheless, the potentiation effect was statistically significant for responses inducing a low tone, but not for responses inducing a high tone. One could argue that when outcomes were no longer available, the magnitude coding began to be less actively maintained and progressively fade away. Maybe 96 trials were not enough to notice its total disappearance. If so, when outcomes were no longer produced by responses, the response coding should only persist for a short period. Nevertheless, it is difficult to understand why this fade away occurs specifically for a response and not for the other. One could only speculate that maintaining the response-outcome association might be easier for the low tone than for the high tone, but further studies are needed to address this possibility.

Second, Experiment 3 suggested that after a short learning phase in which the magnitude coding of the response emerged (Block 1), the potentiation effect could be affected by an opposite response-outcome association (Block 2). This result suggests that even if a magnitude coding could persist after the disappearance of the outcomes (Experiment 2), it can be altered when new outcomes, which are in conflict with the previous coding, occur. However, it is noteworthy that we did not observe a negative potentiation effect (i.e., a reversed effect based on the new outcomes). Accordingly, two hypotheses can be developed. First, when a coding has emerged and progressively faded away, another coding cannot be constructed. However, this hypothesis is odd because it implies that any recoding is impossible, deeply undermining the plasticity of the motor system. Second, 96 trials could be insufficient to allow a complete response recoding based on the new outcomes. A conflict could occur and take time to be resolved. This hypothesis sounds interesting to investigate especially considering that the first coding persists even in the absence of the outcome. Indeed, if this hypothesis is true, it could be possible to predict a reversed potentiation effect assuming an adequate number of trials.

Taken together, this last hypothesis supports that several processes can be at work to allow the dynamic and

the plasticity of responses coding. More precisely, we have shown a stimulus–outcome compatibility effect in our experiments, and based on Heurley’s et al. experiments (2020), we strongly believe that no stimulus–response compatibility occurred. With regard to the response–outcome compatibility, a doubt remains concerning its involvement, however, our experimental design does not allow us to determine the exact influence of this compatibility. Some research about stimulus–response and response–outcome compatibility has suggested that these compatibilities may interact together and amplify their effects (e.g., Keller & Koch, 2006; Yamaguchi and Proctor 2011). It may therefore be relevant to determine whether stimulus–outcome compatibility could emerge dependently or independently from stimulus–response compatibility and/or response–outcome compatibility, and how the former compatibility interacts with the two latter.

Conclusion

Altogether, our data support the possibility that the magnitude of response outcomes could be spontaneously perceived, anticipated, integrated, and could promote a kind of spatial coding of responses. This coding could interact with the visual or semantic size of the objects and induce a magnitude-related stimulus–response compatibility effect. In addition, our experiments question the nature of the potentiation effect of grasping behaviours and leave opened promising avenues to the development of a more comprehensive theory on the perception–action links.

Appendix

See Fig. 4.

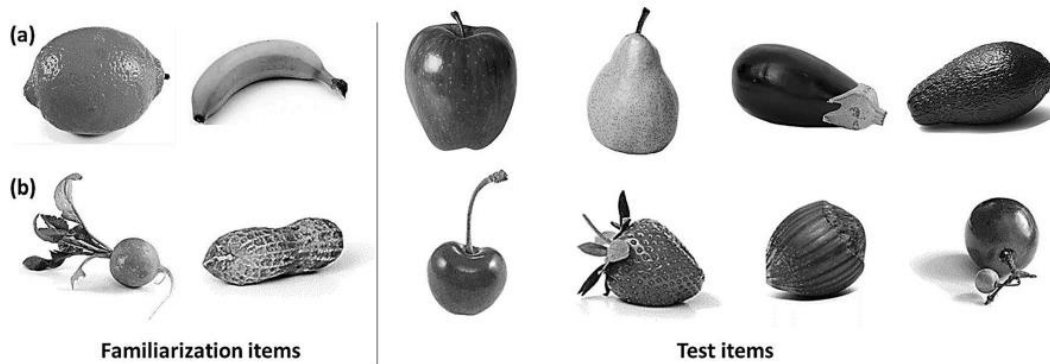


Fig. 4 Large (a) and small (b) objects used in both experimental phases

Acknowledgements We would like to thank Eric-Jan Wagenmakers and Richard D. Morey for answering our questions on Bayesian analyses.

Data availability The datasets, the stimuli, and the E-Prime script of the experiments are available at https://osf.io/7d3mf/?view_only=ea249306b98e4a7ba631d31f5274ed2a

Declarations

Conflict of interest We have no conflict of interest to disclose. This work was funded by the École Doctorale Sciences du Sport, de la Motricité et du Mouvement Humain (SSMMH) which awarded a PhD scholarship to Ronan Guérineau.

Ethical approval All procedures conducted in our studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

References

- American Psychological Association. (2017). *Ethical Principles of Psychologists and Code of Conduct*. American Psychological Association. <https://www.apa.org/ethics/code/ethics-code-2017.pdf>
- Andres, M., Davare, M., Pesenti, M., Olivier, E., & Seron, X. (2004). Number magnitude and grip aperture interaction. *NeuroReport*, *15*, 2773–2777.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 617–645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Bien, N., ten Oever, S., Goebel, R., & Sack, A. T. (2012). The sound of size: crossmodal binding in pitch-size synesthesia: a combined TMS EEG and Psychophysics Study. *NeuroImage*, *59*(1), 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.095>
- Bien, N., ten Oever, S., Goebel, R., & Sack, A. T. (2013). Corrigendum to «The sound of size : Crossmodal binding in pitch-size synesthesia: a combined TMS, EEG and psychophysics study» [Neuroimage 59/1(2012) 663–672]. *NeuroImage*, *72*, 325–325. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.006>
- Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, *106*(1), 27–58. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.12.010>
- Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *364*(1525), 1831–1840. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0028>
- Camus, T., Hommel, B., Brunel, L., & Brouillet, T. (2018). From anticipation to integration: the role of integrated action-effects in building sensorimotor contingencies. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(3), 1059–1065. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1308-6>
- Cousineau, D. (2017). Varieties of confidence intervals. *Advances in Cognitive Psychology*, *13*(2), 140–155. <https://doi.org/10.5709/acp-0214-z>
- Cumming, G. (2014). The new statistics: why and how. *Psychological Science*, *25*(1), 7–29. <https://doi.org/10.1177/0956797613504966>
- Ellis, R. (2007). Grounding visual object representation in action. In B. Wallace, A. Ross, J. Davies, & T. Anderson (Éds.), *The mind, the body and the world : Psychology after cognitivism?* (p. 309–326). Exeter: Imprint Academic
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, *91*(4), 451–471. <https://doi.org/10.1348/000712600161934>
- Elsner, B., & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology*, *27*(1), 229–240. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.229>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Fidler, F. (2018). *From Statistical Significance to Effect Estimation : Statistical Reform in Psychology, Medicine and Ecology* [Preprint]. Thesis Commons. <https://doi.org/10.31237/osf.io/7xdpq>
- Forrester, S. E. (2015). Selecting the number of trials in experimental biomechanics studies. *International Biomechanics*, *2*(1), 62–72. <https://doi.org/10.1080/23335432.2015.1049296>
- Gallace, A., & Spence, C. (2011). To what extent do Gestalt grouping principles influence tactile perception? *Psychological Bulletin*, *137*(4), 538–561. <https://doi.org/10.1037/a0022335>
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology*, *36*(2), 330–340. <https://doi.org/10.1037/a0017180>
- Goss-Sampson, M. A., van Doorn, J., & Wagenmakers, E. J. (2020). Bayesian inference in JASP: A guide for students. <https://jasp-stats.org/2020/05/19/bayesian-inference-in-jasp-a-new-guide-for-students/>
- Greenwald, A. G. (1970). A double stimulation test of ideomotor theory with implications for selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, *84*(3), 392–398. <https://doi.org/10.1037/h0029282>
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action : An fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, *17*(12), 2735–2740. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02695.x>
- Guérineau, R., Heurley, L. P., Morgado, N., Brouillet, D., and Dru, V. (2020). Anticipating the Magnitude of Response Outcomes can induce Potentiation Effect for Manipulable Objects [Raw data]. (OSF Registries). https://osf.io/7d3mf/?view_only=ea249306b98e4a7ba631d31f5274ed2a. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/7D3MF>
- Harleß, E. (1861). Der Apparat des Willens. *Zeitschrift Für Philosophie Und Philosophische Kritik*, *38*(2), 50–73.
- Heurley, L. P., Brouillet, T., Coutté, A., & Morgado, N. (2020). Size coding of alternative responses is sufficient to induce a potentiation effect with manipulable objects. *Cognition*, *205*, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104377>
- Hommel, B. (1997). Toward an action-concept model of stimulus-response compatibility. In B. Hommel & W. Prinz (Éds.), *Theoretical issues in stimulus-response compatibility*. (p. 281–320). Amsterdam: Elsevier Science/JAI Press. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(97\)80041-6](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(97)80041-6)
- 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. (2010). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, *136*(2), 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>

- Hommel, B. (2013). Ideomotor action control : on the perceptual grounding of voluntary actions and agents. In W. Prinz, M. Beisert, & A. Herwig (Éds.), *Action Science* (p. 112–136). Cambridge: The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262018555.003.0005>
- Hommel, B. (2015). The theory of event coding (TEC) as embodied-cognition framework. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01318>
- Hommel, B. (2019). Theory of Event Coding (TEC) V2.0: representing and controlling perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*(7), 2139–2154. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01779-4>
- Hommel, B., & Elsner, B. (2009). Acquisition, representation, and control of action. In E. Morsella, J. A. Bargh, & P. M. Gollwitzer (Éds.), *Oxford handbook of human action*. p. 368–397. Oxford: Oxford University Press
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): a framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*(5), 849–878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Ishihara, M., Keller, P. E., Rossetti, Y., & Prinz, W. (2008). Horizontal spatial representations of time: evidence for the STEARC effect. *Cortex*, *44*(4), 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.010>
- James, W. (1890). *The principles of psychology*, vol 1. New York: Henry Holt and Co. doi: <https://doi.org/10.1037/10538-000>
- Keetels, M., & Vroomen, J. (2011). Sound affects the speed of visual processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*(3), 699–708. <https://doi.org/10.1037/a0020564>
- Keller, P. E., & Koch, I. (2006). Exogenous and endogenous response priming with auditory stimuli. *Advances in Cognitive Psychology*, *2*(4), 269–276. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0061-9>
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*(2), 387–394. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.2.387>
- Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., & Henik, A. (2017). From “sense of number” to “sense of magnitude”: the role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, *40*, e164. <https://doi.org/10.1017/S0140525X16000960>
- Lotze, H. (1852). *Medizinische psychologie :Order, Physiologie der seele*. Rapperswil: Weidmann
- Makris, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2011). Viewing objects and planning actions: on the potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain and Cognition*, *77*(2), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.08.002>
- Masson, M. E. J. (2015). Toward a deeper understanding of embodiment. *Canadian Journal of Experimental Psychology/revue Canadienne De Psychologie Expérimentale*, *69*(2), 159–164. <https://doi.org/10.1037/cep0000055>
- Matheson, H., White, N., & McMullen, P. (2015). Accessing embodied object representations from vision: a review. *Psychological Bulletin*, *141*(3), 511–524. <https://doi.org/10.1037/bul0000001>
- Mathôt, S. (2017). Bayes like a Baws: Interpreting Bayesian repeated measures in JASP [Blog post]. <https://www.cogsci.nl/blog/interpreting-bayesian-repeated-measures-injasp>
- Namdar, G., & Ganel, T. (2015). Cross-modal effects of auditory magnitude on visually guided grasping. *Journal of Vision*. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2015-56369-001&lang=fr&site=ehost-live>
- O’Brien, F., & Cousineau, D. (2014). Representing Error bars in within-subject designs in typical software packages. *The Quantitative Methods for Psychology*, *10*(1), 56–67. <https://doi.org/10.20982/tqmp.10.1.p056>
- Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*, *123*(5), 534–568. <https://doi.org/10.1037/rev0000027>
- Parise, C. (2015). Crossmodal correspondences : standing issues and experimental guidelines. *Multisensory Research*, *29*(1–3), 7–28. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002502>
- Parise, C., & Ernst, M. O. (2016). Correlation detection as a general mechanism for multisensory integration. *Nature Communications*, *7*(1), 11543. <https://doi.org/10.1038/ncomms11543>
- Parise, C., & Spence, C. (2008). Synesthetic congruency modulates the temporal ventriloquism effect. *Neuroscience Letters*, *442*(3), 257–261. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.010>
- Parise, C., & Spence, C. (2009). ‘When Birds of a Feather Flock Together’ : synesthetic correspondences modulate audiovisual integration in non-synesthetes. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005664>
- Parise, C., Spence, C., & Deroy, O. (2015). Understanding the correspondences: introduction to the special issue on crossmodal correspondences. *Multisensory Research*, *29*(1–3), 1–6. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002517>
- Perugini, M., Gallucci, M., & Costantini, G. (2014). Safeguard power as a protection against imprecise power estimates. *Perspectives on Psychological Science*, *9*(3), 319–332. <https://doi.org/10.1177/1745691614528519>
- Pfister, R. (2019). Effect-based action control with body-related effects: implications for empirical approaches to ideomotor action control. *Psychological Review*, *126*(1), 153–161. <https://doi.org/10.1037/rev0000140>
- Pfister, R. (2021). Variability of Bayes factor estimates in Bayesian analysis of variance. *The Quantitative Methods for Psychology*, *17*(1), 40–45. <https://doi.org/10.20982/tqmp.17.1.p042>
- Pfister, R., & Janczyk, M. (2012). Harleß’ apparatus of will : 150 years later. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *76*(5), 561–565. <https://doi.org/10.1007/s00426-011-0362-3>
- Pfister, R., & Kunde, W. (2013). Dissecting the response in response-effect compatibility. *Experimental Brain Research*, *224*(4), 647–655. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3343-x>
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 129–154. <https://doi.org/10.1080/713752551>
- Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus-response compatibility effects? In B. H. Ross (Éd.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 60. (2014–03629–006; Vol. 60, p. 227–266). Elsevier Academic Press.
- Proctor, R. W., Vu, K.-P.L., & Nicoletti, R. (2003). Does right-left prevalence occur for the Simon effect? *Perception & Psychophysics*, *65*(8), 1318–1329. <https://doi.org/10.3758/BF03194855>
- Proctor, R., Yamaguchi, M., & Vu, K.-P. (2007). Transfer of noncorresponding spatial associations to the auditory Simon task. *Journal of Experimental Psychology*, *33*, 245–253. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.1.245>
- Proctor, R., Yamaguchi, M., Zhang, Y., & Vu, K.-P. (2009). Influence of visual stimulus mode on transfer of acquired spatial associations. *Journal of Experimental Psychology*, *35*, 434–445. <https://doi.org/10.1037/a0014529>
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, *56*(5), 356–374. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>
- Rubichi, S., Nicoletti, R., & Umiltà, C. (2005). Right-left prevalence with task-irrelevant spatial codes. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *69*(3), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0168-z>

- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., Umiltà, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: the SMARC effect. *Cognition*, *99*(2), 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.01.004>
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime user's guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, *81*(1), 174–176. <https://doi.org/10.1037/h0027448>
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences : A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *73*(4), 971–995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
- Stock, A., & Stock, C. (2004). A short history of ideo-motor action. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *68*(2–3), 176–188. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0154-5>
- Tagliabue, M., Zorzi, M., Umiltà, C., & Bassignani, F. (2000). The role of long-term-memory and short-term-memory links in the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology*, *26*(2), 648–670. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.2.648>
- Thébault, G., Michalland, A.-H., Derozier, V., Chabrier, S., Brouillet, D., et al. (2018). When the vibrations allow for anticipating the force to be produced: an extend to Pfister et al. (2014). *Experimental Brain Research*, *236*(4), 1219–1223. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5190-x>
- Thébault, G., Pfister, R., Michalland, A.-H., & Brouillet, D. (2020). Flexible weighting of body-related effects in action production. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *73*(9), 1360–1367. <https://doi.org/10.1177/1747021820911793>
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology*, *24*(3), 830–846. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.830>
- 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>
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, *116*(2), 185–203. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.01.004>
- Veale, J. F. (2014). Edinburgh handedness inventory—short form: a revised version based on confirmatory factor analysis. *Laterality*, *19*(2), 164–177. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045>
- Wagenmakers, E.-J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Dropmann, D., Boutin, B., Meerhoff, F., Knight, P., Raj, A., van Kesteren, E.-J., van Doorn, J., Šmíra, M., Epskamp, S., Eitz, A., Matzke, D., & Morey, R. D. (2018). Bayesian inference for psychology. Part II : example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(1), 58–76. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1323-7>
- Walker, P., & Smith, S. (1984). Stroop interference based on the synaesthetic qualities of auditory pitch. *Perception*, *13*(1), 75–81. <https://doi.org/10.1068/p130075>
- Walker, P., & Smith, S. (1985). Stroop interference based on the multimodal correlates of haptic size and auditory pitch. *Perception*, *14*(6), 729–736. <https://doi.org/10.1068/p140729>
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(11), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- Yamaguchi, M., Chen, J., & Proctor, R. W. (2015). Transfer of learning in choice reactions: the roles of stimulus type, response mode, and set-level compatibility. *Memory & Cognition*, *43*(6), 825–836. <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0518-2>
- Yamaguchi, M., & Proctor, R. W. (2011). The Simon task with multi-component responses: two loci of response–effect compatibility. *Psychological Research Psychologische Forschung*, *75*(3), 214–226. <https://doi.org/10.1007/s00426-010-0299-y>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

The magnitude of post-response outcomes did not modulate the potentiation effect of grasping behaviours

Cette section est consacrée à l'article « *The magnitude of post-response outcomes did not modulate the potentiation effect of grasping behaviours* » soumis et en cours de révision dans la revue *Memory and Cognition*. Comme pour dans la section précédente, l'article dans sa version la plus récente sera disposé dans son intégralité après cette synthèse.

5.1 Objectif et protocole expérimental

L'objectif poursuivi avec cette étude était de nous intéresser plus en détail au rôle des effets perceptifs artificiels dans un protocole d'effet de potentialisation classique. Plus précisément, nous avons voulu déterminer si le rôle des effets post-réponses mis en évidence dans notre étude précédente (Guerineau et al., 2021) pouvait être retrouvé lorsque les gestes de réponse étaient des gestes de saisie compatibles avec ceux associés aux objets présentés. En effet, dans la section précédente, les gestes de réponse se faisaient par pression de l'index ou de la paume de la main sur des touches de mêmes dimensions : ainsi, il est possible qu'un processus de simulation motrice n'ait pas eu lieu du fait de l'absence de saisie, ou alors que les effets post-réponses comme les effets tactiles ou visuels par exemple, n'aient pas été pris en compte dans le codage car ils ne se différenciaient pas sur la composante « magnitude ».

Ainsi, nous avons repris le protocole utilisé dans l'expérience 1 de notre précédent travail (Guerineau et al., 2021) en utilisant cependant un dispositif inspiré de celui d'Ellis et Tucker (2000 ; Tucker & Ellis, 2001) qui permettait, pour réaliser les réponses, de mimer un geste de saisie de précision entre le pouce et l'index, et de saisie de force avec les trois autres doigts. Nous avons décliné ce nouveau protocole à travers trois conditions différentes. Dans la première, nous avons présenté aux participants des objets généralement manipulés soit avec une saisie de force (i.e., des objets « grand » comme une pomme par exemple), soit avec une saisie de précision (i.e., des objets « petit » comme par exemple une fraise). Ces objets étaient présentés soit en bleu, soit en orange, et la consigne était de catégoriser ces objets selon leur couleur. Les réponses s'effectuaient soit en mimant une saisie de précision en pressant une touche de petite taille entre le pouce et l'index, soit en mimant une saisie de force en pressant une touche de grande

taille entre la paume de la main et les doigts restants. Le but de cette condition était de faire une réplique théorique des expériences initiales de Ellis et Tucker (2000 ; Tucker & Ellis, 2001) et d'obtenir une condition de base. Ainsi dans cette condition, chacune des réponses n'induisait aucun son (i.e., condition sans effets perceptifs).

Pour les deux autres conditions, chaque réponse induisait des effets sonores. Dans la condition «congruente», le protocole était similaire si ce n'est que la réponse en saisie de précision produisait systématiquement un son aigu, tandis que la réponse en saisie de force produisait systématiquement un son grave. Ainsi, une compatibilité entre la magnitude des objets et celle des réponses allait de pair avec une compatibilité entre la magnitude des objets et celle des effets post-réponses. Enfin, dans la dernière condition dite «incongruente», la réponse en saisie de précision produisait systématiquement un son grave, tandis que la réponse en saisie de force produisait systématiquement un son aigu. Ainsi, dans cette condition, lorsque la magnitude des objets était compatible avec celle des réponses, elle était en-même temps incompatible avec celle des effets post-réponses, et inversement.

Deux hypothèses majeures ont pu être faites. Premièrement, si les effets de potentialisation étaient dus à un processus de simulation motrice, nous nous attendions alors à rapporter un effet de compatibilité en fonction de la compatibilité entre les réponses (i.e., saisie de force vs. saisie de précision) et les objets, indépendamment de la magnitude des effets post-réponses artificiels. Ainsi, l'effet de potentialisation devrait être similaire dans les trois conditions, indépendamment de la présence ou non des effets post-réponses artificiels (i.e., les sons). Deuxièmement, si les effets de potentialisation sont plutôt dus à une compatibilité entre un codage de la magnitude des réponses à cause de leurs effets et un codage de la magnitude des objets à cause de la taille (i.e., petit vs grand), des prédictions différentes peuvent être faites pour chacune des conditions. En effet, concernant les effets post-réponses, nous pouvons en distinguer de deux sortes : des effets que nous pourrions catégoriser comme «naturels» et d'autres comme «artificiels». Les effets post-réponses naturels correspondraient à ceux produits indépendamment de toutes manipulations expérimentales, comme par exemple des retours visuo-tactiles suite à la pression d'une touche. Les effets post-réponses artificiels correspondraient quant à eux à des effets ajoutés intentionnellement par le chercheur afin de les manipuler expérimentalement à l'instar des effets sonores dans notre cas.

Dans la condition de base, seuls les effets post-réponses naturels seraient présents, le codage de la magnitude des réponses serait uniquement imputable aux effets naturellement induits par les saisies, à savoir majoritairement des effets de type visuo-tactile. Plus précisément, du fait des dimensions des touches, les réponses en saisie de force induiraient des effets post-réponses naturels «grand», et les réponses en saisie de précision induiraient des effets post-réponses naturels «petit» (voir Heurley et al., 2020 pour des résultats allant dans ce sens). Ainsi, un effet de potentialisation serait attendu selon la compatibilité entre les réponses (i.e., saisie de force vs. saisie de précision) et les objets. Dans les conditions

congruente et incongruente, les effets post-réponses naturels tout comme les effets post-réponses artificiels seraient présents, ainsi le codage de la magnitude des réponses serait dû à la fois au codage des effets post-réponses naturels (i.e., effets de types majoritairement visuo-tactiles), et au codage des effets post-réponses artificiels (i.e., les effets auditifs manipulés expérimentalement). De fait, dans la condition congruente le codage des effets post-réponses naturels et artificiels étant identiques (e.g., la saisie de force et le son grave seront tous deux codés comme «grand»), l'effet de potentialisation attendu devrait suivre un pattern similaire à celui obtenu dans la condition de base (voire être plus important, puisque plus d'effets perceptifs permettraient de coder les réponses). Pour la condition incongruente, un conflit devrait avoir lieu entre le codage de la magnitude des effets post-réponses naturels et le codage des effets post-réponses artificiels (i.e., quand l'un serait codé «petit», l'autre serait codé «grand»). Par conséquent, il est possible de s'attendre à un effet de potentialisation réduit par rapport aux conditions précédentes, voire à un effet nul.

En résumé, du point de vue du codage de la magnitude, la taille d'effet de l'effet de potentialisation devrait être plus grande dans la condition congruente dans laquelle les codes de magnitude des effets post-réponses naturels et artificiels sont identiques ; légèrement plus petite dans la condition de base dans laquelle les codes de magnitudes des effets post-réponses artificiels sont absents ; et encore plus petite dans la condition incongruente dans laquelle les codes de magnitude des effets post-réponses naturels et artificiels sont en opposition. Du point de vue de la simulation motrice, la taille d'effet de l'effet de potentialisation devrait être similaire dans chaque expérience.

5.2 Principaux résultats et discussion

Le principal résultat qui se dégage de l'analyse inter-conditions est la présence dans chacune des conditions d'un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre le type d'objet et le type de saisie. Plus précisément, les temps de réponse étaient plus courts lorsque l'objet présenté était petit (e.g., une fraise) et que la réponse à réaliser était une saisie de précision plutôt qu'une saisie de force, et inversement lorsque l'objet était grand (e.g., une pomme). De plus, l'analyse ne révèle pas d'influence de la condition sur l'effet de potentialisation, ce qui pourrait suggérer que la présence des sons n'a pas influencé la production des réponses.

A première vue, il serait possible d'expliquer ces résultats selon l'hypothèse de la simulation motrice comme cela a été fait pour le moment dans notre article. Cependant, il serait aussi possible que ces résultats s'expliquent par une compatibilité de codes de magnitude comme l'ont d'ailleurs suggéré les deux relecteurs de notre article : Heath Matheson et Robert Proctor. En effet, il serait tout à fait possible d'envisager qu'un codage dépendant de la taille des touches ait eu lieu du fait du dispositif, puisque pour rappel : les réponses par saisie de précision s'effectuaient sur une petite touche tenue entre le pouce et

l'index, tandis que les réponses par saisie de force étaient réalisées sur une grande touche tenue dans la paume de la main et pressée par les trois doigts restants. Ainsi, l'effet révélé dans cette expérience pourrait ne pas être tributaire d'une compatibilité entre le type d'objet présenté et le type de saisie à réaliser, mais plutôt d'une compatibilité entre la taille de l'objet présenté et la taille des touches de réponse, comme démontré par l'étude de Heurley et al. (2020).

Il est à noter que pour étayer cette hypothèse, nous avons programmé une autre expérimentation dont la collecte de données commencera début 2023. Le protocole de cette expérience additionnelle s'inspire de celui employé par Heurley et al. (2020) puisque le dispositif de réponse sera mis à plat et les réponses se feront par pression avec la paume ou l'index de la main sur les différentes touches, nous permettant ainsi de supprimer la composante de saisie des gestes de réponse. De plus, l'appariement des sons consécutifs aux réponses sera identique à la condition incongruente, à savoir que les réponses par pression de l'index sur la petite touche produiront des sons graves, tandis que les réponses par pression de la paume sur la grande touche produiront des sons aigus. Dans l'hypothèse où un effet de potentialisation identique serait observé sans une influence des sons alors cela viendrait corroborer l'hypothèse de codage de la magnitude, ce qui suggérerait une prédominance du codage de la magnitude des touches au détriment du codage des sons dans l'expérience précédente.

5.3 Conclusion

En résumé, dans le cas où les résultats de l'expérimentation additionnelle iraient dans le sens de l'hypothèse de codage de la magnitude, cette étude viendrait alors appuyer la possibilité que les effets post-réponses artificiels ne seraient pas, ou pas suffisamment, pris en compte dans le codage de la magnitude des réponses, et que l'effet de potentialisation dépendrait donc en grande majorité de la taille des touches. Deux hypothèses peuvent être avancées pour tenter d'expliquer ce phénomène en apparence contradictoire vis-à-vis des résultats obtenus dans notre précédente étude (Guerineau et al., 2021). La première hypothèse serait que les caractéristiques du dispositif de réponse rendraient les touches de réponses plus saillantes que ne le seraient les effets post-réponses sonores. Cela pourrait donc induire une forme de biais attentionnel en faveur des touches et des effets post-réponses qui leur sont intrinsèquement liés (voir notamment Posner et al., 1976 pour des arguments en faveur d'une dominance visuelle).

La seconde hypothèse, qui fait l'objet de la section suivante, porte sur une forme de pondération intentionnelle du codage en faveur des effets post-réponses naturellement induits par le dispositif de réponse, à savoir des retours principalement d'ordre visuo-tactile (voir Memelink & Hommel, 2013 ; Hommel, 2015, 2019). En effet, dans la tâche proposée aux participants, les informations relatives au dispositif de réponse seraient possiblement plus pertinentes que les informations relatives aux sons

produits. Cela pourrait donc attribuer un rôle plus important pour les premières au détriment des secondes. Toutefois, il conviendra de rester prudent quant à l'interprétation de nos résultats puisque dans l'hypothèse où les résultats de la future seconde expérience viendrait appuyer l'hypothèse d'un codage de la magnitude, cela ne pourrait complètement exclure la possibilité qu'une forme de simulation motrice ait eu lieu dans la première expérience où les gestes de saisies étaient possibles, et où la présence des sons semble n'avoir eu aucune influence.

1 **The Magnitude of Post-Response Outcomes did not modulate the**
2 **Potential Effect of Grasping Behaviours**

3
4 Ronan Guerineau  <https://orcid.org/0000-0003-0583-3987>

5 Loïc P. Heurley  <https://orcid.org/0000-0002-8185-6083>

6 Denis Brouillet:  <https://orcid.org/0000-0003-0643-7345>

7 Vincent Dru:  <https://orcid.org/0000-0001-5152-0995>

8
9 The datasets, the stimuli, and the E-Prime script of the experiments are available at
10 <https://osf.io/r9425>.

11 We have no conflict of interest to disclosed.

12 All procedures conducted in our studies involving human participants were in
13 accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964
14 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

15 Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

16
17 Correspondence concerning this article should be addressed to Ronan Guerineau or Loïc
18 Heurley, Laboratoire sur les Interactions Cognition, Action, Émotion (LICAÉ) – Université
19 Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France.

20 E-mail: ronan.guerineau@wanadoo.fr ; heurleyloic@yahoo.fr

21

22

23

Abstract

24 Seeing large objects (e.g., pears) or small objects (e.g., cherries) potentiates power grip
25 and precision grip, respectively. According to the motor simulation account, this potentiation
26 effect reflects an automatic access to object representation, including the grip usually associated
27 with the object. Alternatively, this effect might be due to an overlap between magnitude codes
28 used to code manipulable objects and magnitude codes used to code responses outcomes. In our
29 experiment, participants saw objects usually grasped with a power or precision grip and had to
30 mimic these gestures on a specific device. In the corresponding and non-corresponding
31 conditions, each response generating a low or high tone (i.e., a large vs. small perceptual
32 outcome, respectively). Tones were automatically delivered by headphones after the responses
33 has been made in line with the ideomotor theories according to which voluntary actions are
34 carried out due to the anticipation of their outcomes. Consistent with the motor simulation
35 hypothesis, response times were shorter when the object and the response were compatible than
36 when they were not, independently of the magnitude of the post-response outcome induced by
37 the responses. These results were also consistent with a between-condition analysis. Our results
38 suggest that the potentiation effect could, under some circumstances, be immune to post-
39 responses outcomes, thus mainly supporting the motor simulation account instead of the
40 magnitude-coding account of the potentiation effect. They more specifically highlight the co-
41 existence of two possible kinds of potentiation effect: one involving a motor simulation process
42 and another involving a compatibility of magnitude/size.

43

44 *Keywords:* Stimulus-Response Compatibility; Motor simulation; Embodied Cognition;
45 Potentiation Effect; Magnitude hypothesis

46

47 INTRODUCTION

48 Explaining how we interact with our environment is one of the main goals of cognitive
49 science. Among the theories linking perception and action, embodied theories of
50 conceptualisation state that the mere perception of a manipulable object automatically involves
51 a motor simulation process (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007). More
52 precisely, merely seeing a hammer for instance would induce the automatic simulation of
53 actions usually performed with this object by recruiting motor-related cortical areas. This view
54 was supporting by several empirical evidence gathering during the last 25 years (for a review,
55 see Matheson et al., 2015, 2019). In this article, we will specifically focus on one of these major
56 empirical supports: the potentiation effect of grasping behaviours initially reported by Ellis and
57 Tucker (2000). In their work, Ellis and Tucker (2000) reported that the mere perception of
58 manipulable objects usually grasped with a power grip (e.g., a pear) or a precision grip (e.g., a
59 cherry) induces shorter Response Times (RTs) when participants performed a compatible rather
60 than an incompatible grip on an appropriate device. This compatibility effect is seen as a
61 behavioural consequence of the automatic simulation of the grasping actions associated to the
62 objects. This effect is well-known and have been replicated several times (e.g., Girardi et al.,
63 2010; Grèzes et al., 2003; Makris et al., 2011; Tucker & Ellis, 2001, 2004). Nevertheless,
64 recently, this simulation hypothesis becomes under debate (Heurley et al., 2020; Guerineau et
65 al., 2021; Harrak et al., 2022). Therefore, our aim was to better understand the potentiation
66 effect¹, by disentangling the classical motor simulation account from the recent magnitude-
67 coding hypothesis.

¹ It is noteworthy that another well-known potentiation effect, first reported by Tucker and Ellis (1998), was usually used. Nevertheless, its embodied interpretation also suffers from important limitations. Herein, we did not review evidence against this interpretation because several publications already sum up them (e.g., Pellicano et al., 2018a; 2018b; Xiong et al., 2019; for a review, see Miles & Proctor, 2014)

68 Initially, Proctor and Miles (2014) as well as Masson (2015) argued the possibility that
69 this compatibility effect could be due to a matching of size codes dedicated to objects and
70 responses. This hypothesis is particularly relevant especially considering an important
71 confound at the level of objects. Indeed, in everyday life, manipulable objects usually grasped
72 with a power grip are also larger than objects usually grasped with a precision grip. In many
73 experiments in which a potentiation effect was reported, objects were presented in a visual size
74 matching their actual size. Thus, the (visual) difference between the size of manipulable objects
75 grasped with a power grip and a precision grip could favour their respective coding as large and
76 small objects. A similar reasoning could be applied to responses. Generally, responses devices
77 used to mimic power grip and precision grip responses were composed of two components: a
78 small component grasped between the index and the thumb to mimic precision grip responses
79 and a larger component grasped between the palm and the other fingers in order to mimic power
80 grip responses. Again, the difference between the size of the small and large component could
81 favour the coding of responses as large and small, respectively. As a consequence, a power grip
82 response would be facilitated when a pear was seen because the response and the object were
83 both coded as large (i.e., matching of size codes). This hypothesis was originally named the
84 size-coding hypothesis (Heurley et al., 2020; see also HARRAK et al., 2022).

85 Heurley et al. (2020) firstly reported evidence in line with this alternative interpretation
86 of the potentiation effect. In their first experiment, participants saw grayscale pictures of
87 manipulable objects usually grasped either with a power grip (e.g., a pear) or with a precision
88 grip (e.g., a cherry). After a short delay, the pictures turned either blue or orange and, according
89 to the colour, participants were instructed to press a small switch with their index or a larger
90 switch with their palm. It is noteworthy that the grasping component of responses was removed
91 unlike experiments usually reported the potentiation effects (e.g., Tucker & Ellis, 2001, 2004).
92 Nevertheless, because there is a difference between the size of each switch, a size coding of

93 response remains nevertheless possible. Heurley et al. (2020) found shorter RTs when the size
94 of the objects and the size of the switch match (e.g., a pear and a large switch) compared to the
95 condition in which both mismatch (e.g., a cherry and a large switch). Interestingly, in their
96 fourth experiment, Heurley et al. (2020) asked participants to press two switches of the exact
97 same size either with their index or with their palm. In this experiment, they were unable to find
98 any compatibility effect supporting that a size difference between switches is critical to induce
99 a size-coding of responses and in turn, a potentiation-like effect².

100 Guerineau et al. (2021) critically extended this primary results thanks to the Theory of
101 Event Coding (TEC, Hommel et al., 2001; Hommel, 2015, 2019). According to this theory, a
102 voluntary action (e.g., a response) would be planned on the basis of its anticipated perceptual
103 outcomes (e.g., post-response outcomes). Guerineau et al. (2021) hypothesised that the
104 compatibility effect based on size codes is not limited to a matching between the size of objects
105 and of switches but can be extended to a matching between the size of objects and the magnitude
106 of the post-response outcomes. In accordance, in each trial, participants saw a grayscale picture
107 of a manipulable object usually grasped either with a power grip (e.g., a pear) or with a precision
108 grip (e.g., a cherry) turning blue or orange after a short delay as in Heurley et al. (2020).
109 According to the colour, the participants have to press one switch between two possible. Both
110 switches were of the exact same size. In this case and as reported by Heurley et al. (2020,
111 Experiment 4), no compatibility effect should occur. Nevertheless, Guerineau et al. (2021)
112 induced artificial post-response outcomes. More precisely, along the experiment, a switch
113 always induced a low tone after it was pressed while the other always induced a high tone. This
114 choice is motivated by cross-modal correspondences models which consider low and high tones

² Ones could argue that Heurley et al. (2020) actually reported a kind of size-based stimulus-response compatibility effect rather than a “true” potentiation effects. To avoid confusion, we use “potentiation-like effect” to refer to these effects that are close to classical potentiation effects but for which, a matching of size or magnitude codes seems to be a more appropriate explanation.

115 as crossmodally associated with the “large” and “small” size (e.g., Parise & Spence, 2009,
116 Parise, 2015, Walsh, 2003). Data gathered suggest that even whether the switches are of the
117 exact same physical size and the tone occurred only after each switch was pressed, a
118 compatibility effect could be observed: RTs were shorter when the size of the objects and the
119 magnitude of the post-response outcomes matched (e.g., a pear and a low tone) compared to
120 the condition in which both mismatched (e.g., a cherry and a low tone). To sum up, it seems
121 possible to find a potentiation-like effect when responses are coded along the magnitude of their
122 post-response outcomes. Guerineau et al. (2021) assume a magnitude-coding hypothesis, rather
123 than merely a size-coding hypothesis, allowing to extend a match/mismatch of codes beyond
124 merely a correspondence of physical/visual size.

125

126 *The rationale of the current experiments*

127 Considering the conclusion of Guerineau et al. (2021), especially the possibility to find
128 a potentiation-like effect according to the magnitude of post-responses outcomes, it seems
129 valuable to argue that, more generally, potentiation effects (e.g., Tucker & Ellis, 2001, 2004)
130 could be also due to the same factor. To better understand such possibility, we have first to
131 distinguish between artificial and natural post-response outcomes (for a discussion, see Pfister,
132 2019). Artificial post-responses outcomes can be defined as the outcomes intentionally
133 manipulated by the researchers in their experiments. In the case of Guerineau et al. (2021) for
134 instance, artificial post-responses outcomes were tones that sounded when each switch was
135 pressed. In addition, responses also induce “natural” post-response outcomes that can be
136 defined as any outcomes naturally induced when participants respond or, more globally, when
137 they act. Natural post-response outcomes could be, for instance, the tactile sensations when
138 participants pressed the switches, the proprioceptive feedbacks about their
139 muscles/tendons/ligaments mobilized, the auditive feedbacks of the slight sound emitted when

140 the switches were depressed or even, the visual feedbacks associated to their hand of response.
141 These kinds of outcomes were generally not manipulated by the experimenter and occurs in any
142 studies requiring participants to respond or act. In studies reporting potentiation effects (e.g.,
143 Tucker & Ellis, 2001, 2004), when participants performed a power grip or a precision grip,
144 several natural post-responses outcomes should occur. Our critical hypothesis is that the
145 magnitude of these natural post-response outcomes could be conceive as “large” for power grip
146 responses compared to the ones induced by precision grip responses that can be instead
147 conceived as “small”. For instance, the power grip was able to induce a “larger” (e.g., more
148 extended) tactile and proprioceptive feedbacks because of a larger part of the hand is used (i.e.,
149 the palm plus three fingers) compared to the precision grip for which only the tip of the thumb
150 and of the index finger are used. This difference could lead in turn to a magnitude-coding of
151 these responses which could itself induce a matching between the grip employed and the
152 magnitude-codes associated to objects. Therefore, we hypothesize that post-response outcomes
153 naturally induced by power grip and precision grip responses could be responsible of
154 potentiation effects (rather than a direct matching with the grip associated to presented objects
155 as argued by the motor-simulation hypothesis).

156 However, despite the seductive aspect of this assumption, proponents of an embodied
157 view could propose an alternative hypothesis according to which the “proximity” between the
158 action performed to respond and the ones associated to the presented objects could favour the
159 recruitment of a motor simulation process. When both share very few similarities like when
160 participants have merely to press keys as in Guerineau et al. (2021) and Heurley et al. (2020),
161 a potentiation effect could be due to a matching between the magnitude codes of objects and
162 responses (and no motor-simulation process will be at work). However, when the responses
163 actions and those associated with the presented objects share many similarities (i.e., when the
164 responses required to mimic a power and a precision grip as in more classic studies on

165 potentiation effects, such as in Tucker & Ellis, 2001), it is possible that a motor simulation
166 process could be at work. This possibility was in accordance with the recent data gathered by
167 Bub et al. (2021). In their protocol, they were able to report a potentiation effect specifically
168 when reach and grasp responses were performed compared to simple keypresses. In this last
169 case, evidence support instead a stimulus-response compatibility effect (see also Ferri et al.,
170 2011, for additional data).

171 To disentangle between this motor simulation and the magnitude-coding hypothesis of
172 potentiation effects, we set up an experiment based on the protocol of Guerineau et al. (2021)
173 but using a response device allowing to mimic power and precision grip responses. Our general
174 aim was to reintroduce responses close to the ones associated to objects (i.e., power and
175 precision grip) in order to favour the possible use of a motor simulation process, and to compare
176 what happens when these responses induce artificial post-response outcomes with
177 corresponding or non-corresponding magnitude (i.e., a low vs. high tone as in Guerineau et al.,
178 2021). Accordingly, the participants have been dispatched between three possible conditions.
179 More specifically, in the baseline condition, participants first saw a grayscale picture of a
180 manipulable object usually grasped either with a power grip (e.g., a pear) or with a precision
181 grip (e.g., a cherry). After a short delay, the picture turned blue, or orange, and the participants
182 were instructed to mimic a power or a precision grip according to the colour. In this condition,
183 we did not introduce artificial post-response effects in order to (i) replicate the classically
184 reported potentiation effect with our particular protocol, and (ii) to assess its effect size when
185 no artificial post-response outcomes were introduced (i.e., a control or baseline condition). In
186 the corresponding condition, we reused the exact same protocol except that each grip induces a
187 corresponding post-response outcome: power grip responses induce a low tone (i.e., a “large”
188 magnitude post-response outcome), and precision grip responses induce a high tone (i.e.,
189 “small” magnitude post-response outcome). The non-corresponding condition follows the same

190 procedure except that each grip induces a non-corresponding post-response outcome: power
191 grip responses induce a high tone (i.e., “small” magnitude post-response outcome) while
192 precision grip responses induce a low tone (i.e., “large” magnitude post-response outcome). It
193 is noteworthy that in corresponding and non-corresponding conditions, the induced artificial
194 post-response outcomes were the same as the ones used by Guerineau et al. (2021).

195 Two kinds of predictions could be made. First, if potentiation effects are actually due to
196 a motor simulation process, we should report a compatibility effect depending on the matching
197 of responses (i.e., power grip vs. precision grip) and objects, independently of the magnitude
198 of the artificial post-response outcomes. Thus, we predict a similar effect in these 3 conditions
199 (e.g., shorter RTs when participants performed a power grip following the presentation of large
200 objects than after the presentation of small objects). Second, if potentiation effects were instead
201 due to a matching of magnitude codes between objects and responses and if the magnitude
202 coding of responses would be influenced by post-response outcomes, different predictions
203 could be made for each condition. In the baseline condition, the magnitude coding of responses
204 could be only due to natural post-responses outcomes (i.e., outcomes naturally induced by
205 power grip and precision grip responses). Because we hypothesize that power grip responses
206 would induce “large” natural post-responses outcomes and precision grip responses would
207 induce “small” natural post-responses outcomes, a compatibility effect is expected between
208 responses (i.e., power grip vs. precision grip) and objects (e.g., shorter RTs when participants
209 performed a power grip when objects were large than when they were small).

210 In the corresponding condition, the magnitude coding of responses could be due to both
211 natural and artificial post-responses outcomes. Interestingly, because both kinds of outcomes
212 correspond, they should induce the same coding (e.g., power grip = large and low tone = large).
213 Accordingly, we can predict a compatibility effect depending on the matching between
214 responses (i.e., power grip/low tone vs. precision grip/high tone) and the objects (e.g., faster

215 RTs when participants performed a power grip/low tone when objects were large compared to
216 when they were small). Thus, we predict the same effect between the baseline and the
217 corresponding conditions, however, because we add a corresponding artificial post-response
218 outcome in the corresponding condition compared to the baseline, it is possible that the size of
219 the compatibility effect will be greater in the corresponding compared to the baseline condition.
220 In the non-corresponding condition, there is a conflict between the magnitude coding of
221 responses induced by natural and artificial post-responses outcomes. Indeed, a power-grip
222 response for instance would induce “large” natural post-response outcomes as well as a high
223 tone which is a “small” artificial post-response outcome. Therefore, two sub-predictions were
224 possible. First, the magnitude coding of responses is mainly due to the artificial post-response
225 outcomes. Thus, we predict a compatibility effect between the tone associated to responses and
226 the objects whatever the grip used (e.g., shorter RTs when participants performed a power
227 grip/high tone when objects were small than when they were large). Second, the magnitude
228 coding of responses is mainly due to natural post-response outcomes. In this case, we can
229 predict a compatibility effect depending on the matching between responses (i.e., power
230 grip/high tone vs. precision grip/low tone) and the objects’ size as in the baseline and the
231 corresponding conditions. Nevertheless, compared to these experiments, we predict a smaller,
232 or even null, size of the potentiation effect due to the conflict between natural and artificial
233 post-response outcomes.

234 To sum up, from a magnitude-coding viewpoint, the effect size of the compatibility
235 effect should be larger in the corresponding condition in which both natural and artificial post-
236 response outcomes correspond, it should be slightly smaller in the baseline condition in which
237 artificial post-response outcomes were removed and further smaller in the non-corresponding
238 condition in which natural and artificial post-response outcomes do not correspond. Conversely,

239 from a motor simulation viewpoint, we predict a similar size of the potentiation effect in each
240 experiment.

241

242 **METHOD**

243 *Participants*

244 To determine an appropriate sample size to detect the Object Size x Response Outcome
245 interaction, we conducted an a priori power analysis using G*Power 3 (Faul et al., 2007) based
246 on Guerineau et al. (2021) cross-experiment analysis. They reported an effect size with $\hat{\eta}_p^2 =$
247 0.17 for the Object Size x Response interaction. The results indicated that a minimum of 26
248 participants was required to detect an effect size as large as in a within-subject design with 90%
249 statistical power ($\alpha = 0.05$). To compensate for a possible decrease in sample size following the
250 discarding of outliers, we decided to recruit 28 participants per conditions.

251 Accordingly, the sample of the baseline condition include 10 females and 18 males (m_{age}
252 = 20.07, $s_{\text{age}} = 1.72$) with no left-handers. The sample of the corresponding condition include 8
253 females and 20 males ($m_{\text{age}} = 19.93$, $s_{\text{age}} = 1.27$) with five left-handers. Finally, the sample of
254 the non-corresponding condition include 11 females and 17 males ($m_{\text{age}} = 21.07$, $s_{\text{age}} = 3.31$)
255 with only one left-hander. Participants were all student at the University Paris Nanterre, and
256 they reported to have a normal or corrected-to-normal visual acuity, and no colour perception
257 nor hearing issues. All participants were naive to the goal of the experiment. They were
258 volunteers, provided their written informed consent to participate without remuneration, and
259 were debriefed at the end of the experiment. This study was in accordance with the ethical
260 principles of the American Psychological Association (2017).

261

262 *Material and apparatus*

263 Our stimuli were pictures of fruits and vegetables (see OSF link): six large ones typically
264 grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon and pear) and six small
265 ones typically grasped with a precision grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish and
266 cherry). All pictures were presented against a white background and in a visual size matching
267 the real size of the fruits and vegetables depicted (large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3
268 cm). Three versions of each picture were designed (grayscale, blue, and orange). These pictures
269 were already used by Heurley et al. (2020) and Guerineau et al. (2021).

270 We also used a homemade response device similar to the one originally used by Ellis
271 and Tucker (2000). It was composed of two parts that could be taken in one hand. The first
272 component was a small cube (1 cm³) held with a precision grip between the thumb and index
273 finger. The cube contained a very small switch that required simultaneous pressure by these
274 two fingers to be activated. The second component was a larger PVC cylinder (10 cm tall and
275 3 cm in diameter) that was held with a power grip (i.e., a whole-hand grip). A switch was placed
276 to the free side of the cylinder that participants have to squeeze simultaneously with their
277 middle, ring and little fingers. Coloured stickers (blue vs. orange) were placed on each
278 component depending on the mapping assigned to each participant.

279 For the corresponding and non-corresponding conditions, we also used a low tone (120
280 Hz) and a high tone (900 Hz) created with the software Audacity®. Those tones were previously
281 used by Guerineau et al (2021) and were created according to the frequencies commonly used
282 in cross-modal experiments (e.g., Parise, 2015; Parise & Spence, 2008, 2009; Parise, et al.,
283 2015).

284 Pictures and tones were available on-line (see <https://osf.io/r9425>).

285

286 **Procedure**

287 Each participant sat in a quiet room in front of a screen at 60 cm (size: 23.8"; refresh
288 rate: 60 Hz). Each experiment lasted 20 min and started with the signature of a consent form by
289 the participant. The experiment was run on E-Prime 2.0 software (Schneider, Eschman &
290 Zuccolotto, 2002) and was divided in two phases: the preliminary phase and the test one. Both
291 began with an oral presentation of the instructions. For the corresponding and non-
292 corresponding conditions, the computer sound was set at 10% and participant heard tones
293 through basic headphone.

294 **Preliminary phase.** This phase was made to ensure each fruit and vegetables used as
295 stimuli was correctly known and recognized by participants. Each of the 12 stimuli was
296 successively and randomly presented in grayscale twice. The first time with their name written
297 below and the second time without. Participants were instructed to name aloud each stimulus
298 (for a similar procedure, Bub et al. 2008; Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021). Trials
299 started with a fixation cross (500 ms) presented at the centre of the screen and followed by the
300 picture which remained on the screen until participants correctly named the depicted object and
301 then pressed the space bar. The next trial began after 1000 ms.

302 **Test phase.** During this second phase, trials started with a fixation cross presented at
303 the centre of the screen during 500 ms. Right after, the picture of the object first appeared in
304 grayscale during either 200 or 400 ms in order to avoid an automatization of the responses.
305 Then, the stimulus turned into orange or blue (see Figure 1). The task was to categorize the
306 colour of the pictures as quickly and accurately as possible. Participants held the response-
307 device into their dominant hand and were instructed to performed either a power grip for a
308 colour and a precision grip for the other one. The mapping between the colour (blue vs. orange)
309 and the response type (power vs. precision grip) was counterbalanced between participants with
310 14 participants per groups. A blank screen followed the response during 1500 ms before the

311 beginning of a new trial. After 16 practice trials, participants completed 192 test trials (8 Stimuli
312 x 2 Colours x 2 Delays x 6 Repetitions).

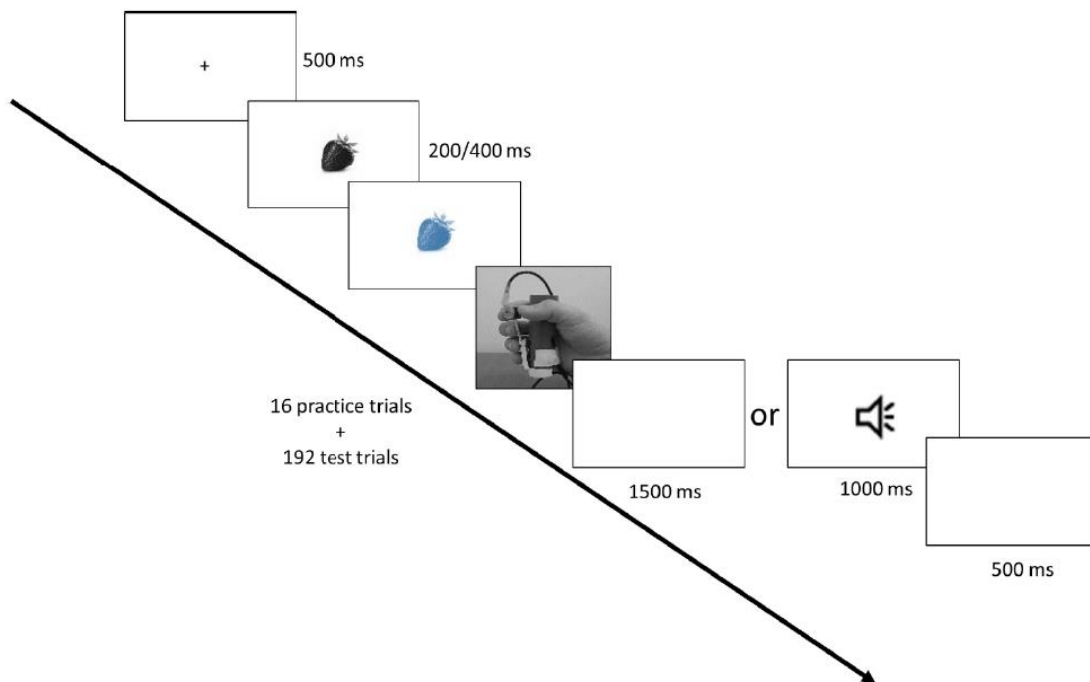
313 In the corresponding and non-corresponding conditions, the post-response outcome was
314 delivered right after participants' response during the first 1000 ms of the inter-stimuli interval,
315 no matter the accuracy of the response. For all participants of the corresponding condition, the
316 low tone was produced by the power grip and the high tone by the precision grip. It was the
317 opposite for the non-corresponding condition: the low tone was produced by the precision grip
318 while the high tone was produced by the power grip.

319 Finally, participants completed the 4-items Edinburgh Handedness Inventory (Veale,
320 2014) and a short questionnaire to provide complementary information about possible vision
321 and hearing impairments, feedback about the use of the device, and about participant's guess
322 about the aim of the experiment.

323

324 **Figure 1**

325 *Experimental procedure used in all conditions. The tones only appeared in the*
326 *corresponding and non-corresponding conditions.*



327

328 **RESULTS**

329 RTs were measured from the object colour change to the response made by pressing the
 330 switch. For each condition, we only examined test trials RTs through a repeated measure
 331 ANOVA with participants as a random variable and object size (large vs. small objects) and
 332 response type (power grip vs. precision grip) as fixed within-subject independent variables. For
 333 the corresponding condition, “response type (power grip vs. precision grip)” was replaced by
 334 “response type/post-response outcome (power grip/low tone vs. precision grip/high tone)”, and
 335 for the non-corresponding condition, it was replaced by “response type/post-response outcome
 336 (power grip/high tone vs. precision grip/low tone)”. We settled the significance threshold at the
 337 conventional .05 for all our analyses and we also provided the 95% confidence interval (CI) of
 338 each mean. Raw data were available on-line (see <https://osf.io/r9425>).

339

340 ***The baseline condition***

341 We removed RTs of incorrect trials (1.95 % of data) and RTs below 200 ms and above
 342 1200 ms (0.53 % of data) as Guerineau et al (2021). The ANOVA revealed a statistically
 343 significant main effect of object size, $F(1, 27) = 10.81, p = .003, \hat{\eta}_p^2 = .29$, with shorter RTs for
 344 large objects ($m = 471$ ms with a 95% CI of [455, 487] $s = 60$) than for small objects ($m = 480$
 345 ms [464, 496], $s = 58$). The ANOVA did not reveal a statistically significant main effect of
 346 response type: $F(1, 27) = 0.01, p = .92, \hat{\eta}_p^2 = .000$. As predicted, the ANOVA revealed a
 347 statistically significant Object Size x Response Type interaction: $F(1, 27) = 35.57, p < .001, \hat{\eta}_p^2$
 348 $= .57$ (Figure 2). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$
 349 after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), planned comparisons
 350 showed that RTs for the power grip were significantly shorter for large objects ($m = 459$ ms
 351 [441, 477], $s = 46$) than for small ones ($m = 493$ ms [472, 514], $s = 55$): $F(1, 27) = 47.6, p <$
 352 $.001, \hat{\eta}_p^2 = .64$. Conversely, RTs for the precision grip were shorter for small objects ($m = 466$
 353 ms [443, 489], $s = 58$) than for large ones ($m = 484$ ms [457, 511], $s = 70$): $F(1, 27) = 11.8, p =$
 354 $.002, \hat{\eta}_p^2 = .30$. We also calculated the size of the potentiation effect³, it was of $m = +26$ ms
 355 [+17, +35], $s = +23$.

356

357 ***The corresponding condition***

358 Again, we removed RTs of incorrect trials (2.55 % of data) and RTs below 200 ms and
 359 above 1200 ms (0.52 % of data). The ANOVA did not reveal a statistically significant main
 360 effect of object size: $F(1, 27) = 0.0007, p = .98, \hat{\eta}_p^2 = .000$. The ANOVA revealed a statistically
 361 significant main effect of response type/post-response outcome, $F(1, 27) = 6.29, p = .02, \hat{\eta}_p^2 =$
 362 $.19$, with shorter RTs for precision grip/high tone ($m = 458$ ms [441, 474] $s = 60$) than for power

³ We calculate the size of the potentiation effect by subtracting RTs in compatible condition (e.g., large objects/power grip) to RTs in non-compatible condition (e.g., large object/precision grip) for each participant. A positive effect size indicated shorter RTs in the compatible compared to the non-compatible condition.

363 grip/low tone ($m = 481$ ms [466, 496], $s = 54$). Like for the baseline condition, the ANOVA
 364 revealed a statistically significant Object Size x Response Type/Post-Response Outcome
 365 interaction: $F(1, 27) = 22.42$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .45$ (Figure 2). According to the corrected
 366 significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a
 367 family of two comparisons), planned comparisons showed that RTs for the power grip/low
 368 tone were significantly shorter for large objects ($m = 470$ ms [447, 493], $s = 58$) than for small
 369 ones ($m = 491$ ms [473, 509], $s = 47$): $F(1, 27) = 13.5$, $p = .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .33$. Conversely, RTs for
 370 the precision grip/high tone were shorter for small objects ($m = 448$ ms [424, 472], $s = 63$) than
 371 for large ones ($m = 469$ ms [447, 491], $s = 56$): $F(1, 27) = 14$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .34$. The size of
 372 the potentiation effect size was of $m = +21$ ms [+12, +30], $s = +23$.

373

374 ***The non-corresponding condition***

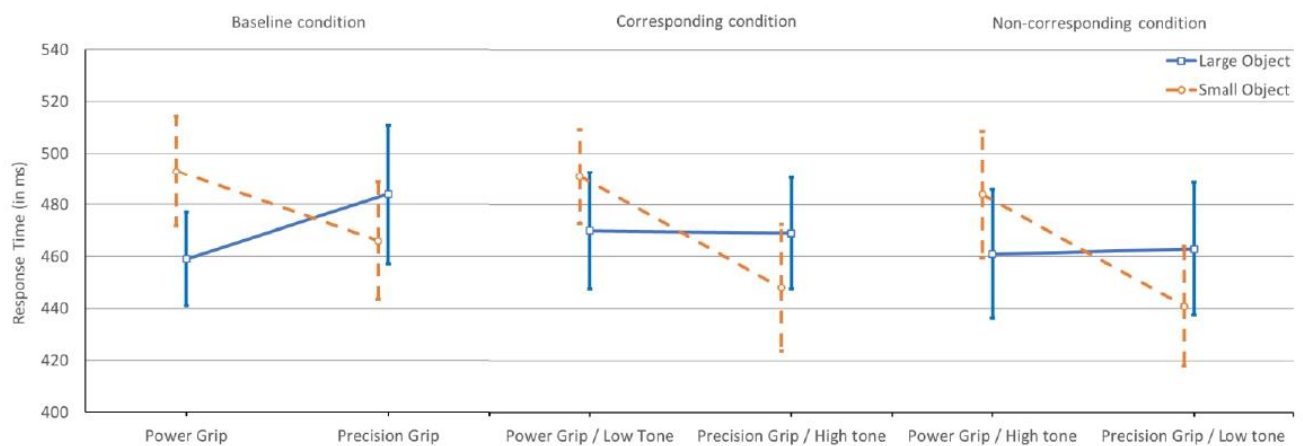
375 As in the previous conditions, we removed RTs of incorrect trials (2.02 % of data) and
 376 RTs below 200 ms and above 1200 ms (0.86 % of data). The ANOVA did not reveal a
 377 statistically significant main effect of object size: $F(1, 27) = 0.005$, $p = .95$, $\hat{\eta}_p^2 = .000$, but it
 378 revealed a statistically significant main effect of response type/post-response outcome, $F(1, 27)$
 379 $= 14.19$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .34$, with shorter RTs for precision grip/low tone ($m = 452$ ms [435,
 380 469] $s = 63$) than for power grip/high tone ($m = 472$ ms [454, 490], $s = 64$). The ANOVA also
 381 revealed a statistically significant Object Size x Response Type/Post-Response Outcome
 382 interaction: $F(1, 27) = 35.88$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .57$ (Figure 2). According to the corrected
 383 significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a
 384 family of two comparisons), planned comparisons showed that RTs for the power grip/high
 385 tone were significantly shorter for large objects ($m = 461$ ms [436, 486], $s = 64$) than for small
 386 ones ($m = 484$ ms [459, 509], $s = 64$): $F(1, 27) = 24.0$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .47$. Conversely, RTs for

387 the precision grip/low tone were shorter for small objects ($m = 441$ ms [418, 464], $s = 59$) than
 388 for large ones ($m = 463$ ms [438, 488], $s = 66$): $F(1, 27) = 22.7$, $p < .001$, $\hat{\eta}_p^2 = .46$. The size of
 389 the potentiation effect was of $m = +23$ ms [+15, +30], $s = +20$.

390

391 **Figure 2**

392 *Mean of response times according to the condition (baseline, corresponding and non-*
 393 *corresponding), the response type (power vs precision grip), and the objects size (large object*
 394 *vs small objects). Error bars represent the 95% within-subject confidence intervals for the*
 395 *means (for a standard terminology for SE and CI, see Cousineau, 2017).*



396

397 ***Between-conditions analyses***

398 Because the magnitude-coding and the motor simulation accounts did not perform the
 399 same prediction concerning the size of the potentiation effect according to the kind of artificial
 400 post-response outcomes, we directly compared each condition. For the record, the magnitude-
 401 coding account predicted a larger effect size in the corresponding condition compared to the
 402 baseline et a smaller effect size in the non-corresponding condition compared to the baseline.
 403 The motor simulation account instead did not predict any difference between the effect size in

404 each condition. Accordingly, we combined the data from each condition ($N_{\text{full dataset}} = 84$, N_{baseline}
 405 $\text{condition} = 28$, $N_{\text{corresponding condition}} = 28$, and $N_{\text{non-corresponding condition}} = 28$). Instead of analysing the
 406 mean response times, we directly analysed the size of the potentiation effect. We first reported
 407 the results of a classical frequentist analysis and then, we reported the results of a Bayesian
 408 statistical inference.

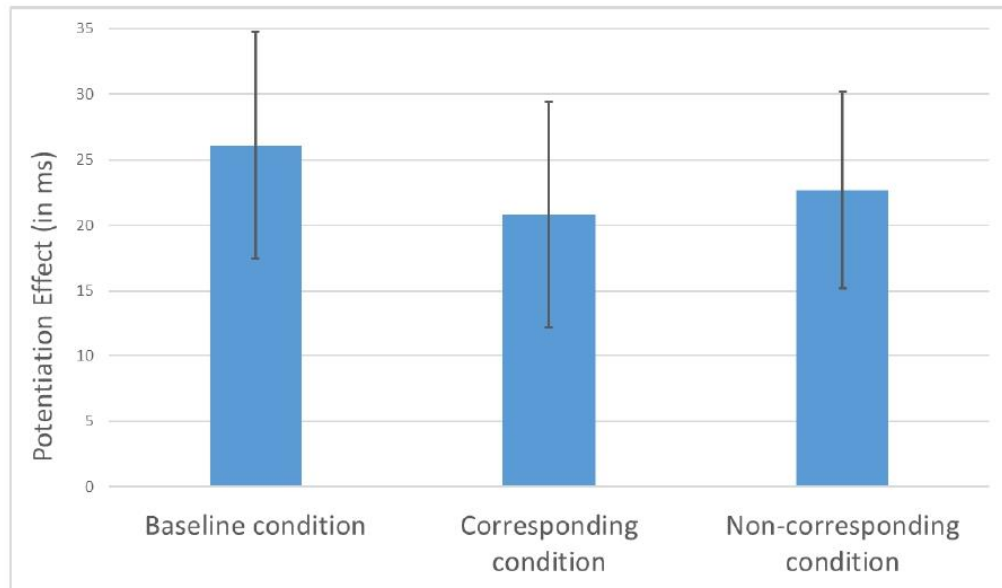
409

410 *The classical frequentist analysis.* We examined these data with a one-way ANOVA
 411 assuming equal variances with the participant as a random variable, the condition (baseline vs.
 412 corresponding vs. non-corresponding) as a fixed between-subject variables, and the size of the
 413 potentiation effect as the dependent variable. The ANOVA revealed that the intercept was
 414 significant, $m = +23$ ms [$+19$, $+28$], $s = +22$, $F(1, 81) = 91.73$, $p < .0001$, $\hat{\eta}_p^2 = .53$. The ANOVA
 415 did not reveal a significant moderation of this effect by the condition, $F(2, 81) = .41$, $p = .66$,
 416 $\hat{\eta}_p^2 = .01$ (see Figure 3).

417

418 **Figure 3**

419 *Mean of potentiation effect (in ms) according to the condition (baseline, corresponding and*
 420 *non-corresponding). Error bars represent the 95% within-subject confidence intervals for the*
 421 *means (for a standard terminology for SE and CI, see Cousineau, 2017).*



422

423 *The Bayesian statistical inference.* Because frequentist analyses are not well suited to
 424 quantify the amount of relative evidence for a nil hypothesis (i.e., a null hypothesis predicting
 425 an effect size of 0, which mean, in this case, no statistical difference between the conditions, as
 426 assumed by the motor-simulation hypothesis), we conducted a Bayesian analysis to reach a
 427 more informative conclusion about the moderating effect of the condition on the potentiation
 428 effect. We presented a Bayesian ANOVA conducted with JAMOVI, using the default
 429 multivariate Cauchy prior recommended by Wagenmakers et al. (2017; for technical details,
 430 see Rouder et al., 2012).

431 As the Bayesian analyses performed in JAMOVI are based on sequential sampling
 432 methods, we decided to replace the default value of 10,000 samples by the arbitrary value of
 433 10^{33} in order to reduce the error percentage (for a more complete explanation, see Guerineau et
 434 al. 2021, Pfister, 2021). The error percentage for the Bayes Factors computed for the full model
 435 comparison was 0.007 %. This very small error percentage indicates that our results should vary
 436 marginally from one analysis to another. Our reported Bayesian analysis focused on the BF_{excl}
 437 rather than on the BF_{01} from the full model comparison. Even whether JAMOVI does not

438 provide error percentage for BF_{excl} , these error percentages should also be small because they
 439 are related to the error percentages of the BF from the full model comparison upon which the
 440 calculation of BF_{excl} is based.

441 As the main effect of each independent variable and their interaction were included in
 442 more than just one model comparison in the Bayesian ANOVA, we ran a Bayesian Model
 443 Averaging (BMA) across matched models to reach a clearer conclusion about the relative
 444 probability of each effect of interest (Wagenmakers et al., 2017; see Mathôt, 2017 for a
 445 discussion of the advantages of BMA across matched models over BMA across all models).
 446 Due to the results of our previous classical frequentist analysis, we focused our interpretation
 447 on the exclusion Bayes factors (BF_{excl}). We interpreted it as the strength of evidence supporting
 448 the averaged model excluding the existence of a given effect (i.e., the null hypothesis, H_0 ,
 449 supported by the motor-simulation hypothesis) relative to the strength of evidence supporting
 450 the averaged model including the existence of this effect (i.e., the alternative hypothesis, H_1 ,
 451 supported by the magnitude-coding hypothesis)⁴. We used the classification proposed by
 452 Wagenmakers et al. (2017) to qualify this strength of evidence as null ($BF = 1$), anecdotal (BF
 453 $= [1, 3]$), moderate ($BF = [3, 10]$), strong ($BF = [10, 30]$), very strong ($BF = [30, 100]$), and
 454 extreme ($BF > 100$).

455 Accordingly, we ran a Bayesian ANOVA with the participant as a random variable, the
 456 condition (baseline vs corresponding vs non-corresponding) as a fixed between-subject
 457 variable, and the size of the potentiation effect as the dependent variable. The analysis revealed
 458 that our observed data were 6.91 times (i.e., BF_{excl}) more likely under the averaged model
 459 predicting the non-existence of an effect of condition on the size of the potentiation effect (H_0)

⁴ Note that the inclusion Bayes Factor (BF_{incl}) reflects the strength of evidence supporting the averaged model including the existence of a given effect (i.e., the alternative hypothesis, H_1) relative to the strength of evidence supporting the averaged model excluding the existence of this effect (i.e., the null hypothesis, H_0). $BF_{\text{incl}} = 1/BF_{\text{excl}}$.

460 than under the averaged model predicting its existence (H1). In other words, the observed data
461 were 0,145 times (i.e., $BF_{incl} = 1/6.91$) more likely if the effect exists than if it does not. This
462 result can be interpreted as a moderate relative evidence for the non-existence of an effect of
463 the condition on the size of the potentiation effect, in line with the result of our frequentist
464 analysis.

465

466 **DISCUSSION**

467 Our goal was to better understand the potentiation effect, namely the facilitation to
468 produce a power grip after having seen a large object compared to a small one, and a precision
469 grip after having seen a small object compared to a large one. . We especially want to
470 disentangle a motor simulation account (Barsalou, 2008; Tucker & Ellis, 2001) from a
471 magnitude-coding account (Guerineau et al., 2021, Heurley et al., 2020). Therefore, we
472 investigated the role of artificial post-response outcomes, relatively to natural ones, in a
473 classical potentiation effect of grasping behaviours paradigm (Ellis & Tucker, 2000). In our
474 experiments, participants saw a graspable object usually grasped either with a power or a
475 precision grip and, according to the colour of the object, they have to mimic a power grip or a
476 precision grip thanks to a specific response device. There are three conditions manipulated in a
477 between-subject design. In the baseline condition, each kind of responses (i.e., power-grip and
478 precision-grip) did not induce any artificial post-responses outcomes (i.e., tones). In the
479 corresponding condition, the response induced a tone that was compatible at the level of its
480 magnitude. More concretely, power-grip responses (i.e., large magnitude) induced a low-tone
481 (i.e., large magnitude) while precision-grip responses (i.e., small magnitude) induced a high
482 tone (i.e., small magnitude). In the non-corresponding condition, each kind of response induced
483 an artificial post-response outcome that was not compatible at the level of its magnitude (i.e.,
484 power-grip/high-tone vs precision-grip/low-tone). Our goal was to test whether the potentiation

485 effect is primarily drove by a compatibility between the kind of objects (e.g., pear) and the kind
486 of grip (i.e., power grip) as it was classically reported (e.g., Ellis & Tucker, 2000; Tucker &
487 Ellis, 2001) or by a compatibility between the kind of objects (e.g., pear) and the magnitude of
488 artificial post-response outcomes (i.e., a low tone) as suggested by Guerineau et al. (2021).

489 The results gathered support the motor-simulation account instead of the magnitude-
490 coding account. Indeed, in each experimental condition, we were able to find a potentiation
491 effect depending on the compatibility between the kind of objects (i.e., power-grip-related vs
492 precision-grip-related) and the kind of grip (i.e., power grip vs precision grip). Even in the non-
493 corresponding condition in which responses induced a tone involving a magnitude code
494 different than the one hypothetically involved by the grasping response (e.g., power-grip
495 responses induced a high tone), the potentiation effect observed is not due to a compatibility
496 between the kind of objects and the kind of tones as reported by Guerineau et al. (2021). More
497 precisely, shorter RTs occurred when participants responded with a power grip to large
498 manipulable objects (e.g., a pear) than to small ones (e.g., a cherry), and conversely for
499 precision grip independently of the magnitude of the post-response tones. Moreover, it is
500 noteworthy that the size of the potentiation effect in the three conditions is similar as suggested
501 by our frequentist and Bayesian between-conditions analyses. This result is of a primary
502 importance because it supports the possibility that when the response is close to the grip
503 associated to objects, the artificial post-response outcomes did not have any influence on the
504 potentiation effect. We further discuss the relevance of our current results for both the motor
505 simulation and the magnitude-coding account in two next sections.

506

507 ***The motor simulation account***

508 Since the work of Heurley et al. (2020) as well as of Guerineau et al. (2021; see also,
509 Harrak et al., 2022), the motor simulation account of the potentiation effect of grasping
510 behaviours should be advocated cautiously. Indeed, it is possible that the potentiation effect
511 could be instead due to a compatibility of size/magnitude codes. Nevertheless, our current work
512 allows to go further. In the work of Heurley et al. (2020) and Guerineau et al. (2021),
513 participants were merely instructed to press switches like the keyboard's ones. Therefore, the
514 responses share few similarities with the grip associated to the object. It is therefore arguable
515 that, in this case, a compatibility of size/magnitude codes is well-suited to explain the effect. In
516 the other hand, when the responses share many similarities with the grip associated to the
517 objects, a motor simulation could take place. The fact that in our experiment, the potentiation
518 effect was immune to the artificial post-response outcomes that should convey size/magnitude
519 codes (Guerineau et al., 2021) supports this possibility. Indeed, the responses used in this
520 experiment are close to the one associated to the object that should promote a motor simulation
521 process instead of a compatibility of codes. Therefore, and in line with the recent proposal of
522 Bub et al. (2021), the similarity between the action associated to the objects seen and the
523 response performed would be a critical factor to involve (or not) a motor simulation process. In
524 a nutshell, two kinds of "potentiation effect" may coexist: (i) a "motor-simulation effect" when
525 the actions associated to objects and to responses are close each other, and (ii) a "magnitude-
526 coding effect" when the actions associated to objects and responses share few similarities.
527 Further studies should be designed to more directly test this hypothesis.

528

529 *The magnitude-coding account*

530 The lack of influence of artificial post-response outcomes on the potentiation effect
531 allow to better assess the effect originally reported by Guerineau et al. (2021). Indeed, in this
532 work, they were able to find shorter RTs when the responses induce a low tone and when a

533 large rather a small object is seen and conversely for the responses inducing a high tone.
534 Therefore, it supports that the spatial coding of responses could depends on the post-response
535 outcomes as advocated by Hommel (1993; see also Hommel, 2011). However, our current work
536 suggests that this dependence could involve additional factors and could vary. Indeed, the fact
537 that the same tones were able to induce a potentiation-like effect in the work of Guerineau et
538 al. (2021) and did not affect the potentiation effect in the corresponding and non-corresponding
539 condition of the current experiment suggests the malleability of the underlying processes. Two
540 factors (not mutually exclusive) could explain the lack of influence (even a slightly one) in our
541 current work.

542 First, as advocated by Ansorge and Wühr (2004), the spatial coding of response could
543 depend on the more salient spatial feature allowing to code the responses. Maybe, in our current
544 experiment, the spatial feature of the tones is less salient than the spatial feature of another
545 responses' component and thus are not considering. A possible candidate relies on the spatial
546 features of the switches themselves. Indeed, in their original work, Guerineau et al. (2021) used
547 two switches of the exact same physical size allowing to exclude a coding of responses based
548 on the size of the switches as reported by Heurley et al. (2020). In the present work, because
549 we use the classic device allowing to mimic a power and a precision grip, the switches differed
550 in size. Mimicking a power grip imply to press a larger switch while mimicking a precision grip
551 involve a response on a smaller switch. Accordingly, the size of switch could be more salient
552 than the tone. The second factor that could play a critical role relies on the participants'
553 intention. As suggested by Hommel (1993), the spatial coding of responses according to post-
554 response outcomes depends on whether the intention of the participant is pressing a switch or
555 to produce a particular outcome. Because in our current study, the participant was merely asked
556 to press one of the switches according to the colour, the task did not directly focus on the post-
557 response outcomes. It is possible that the lack of attention directed toward the post-response

558 outcomes diminish or abolish their relevance. This view is in accordance with the intentional
559 weighting model of Memelink & Hommel (2013) and in line with the experimental data of
560 Dignath et al. (2014). However, this hypothesis has to be taken cautiously because Guerineau
561 et al. (2021) found an influence of the post-response outcomes while they merely asked
562 participants to press the available switches and did not require to intentionally produce a tone
563 to respond. Therefore, further studies should better understand the discrepancy between our
564 current work and the one of Guerineau et al. (2021) and directly test the various possible
565 explanations.

566 In sum, our results suggest that the potentiation effect could be immune to post-
567 responses outcomes supporting therefore the motor simulation account instead of the
568 magnitude-coding account of the potentiation effect. These results are critical to better
569 understand the neurocognitive processes underlying perception-action links. They more
570 specifically highlight the co-existence of two possible kinds of potentiation effect: one
571 involving a motor simulation process and another involving a compatibility of magnitude/size
572 codes. In accordance, further studies investigating the potentiation effect should integrate this
573 possibility.

574

575 REFERENCES

- 576 American Psychological Association. (2017). *ETHICAL PRINCIPLES OF PSYCHOLOGISTS*
577 *AND CODE OF CONDUCT*. American Psychological Association.
578 <https://www.apa.org/ethics/code/ethics-code-2017.pdf>
- 579 Ansonge, U., & Wühr, P. (2004). A Response-Discrimination Account of the Simon Effect.
580 *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(2),
581 365-377. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.2.365>

- 582 Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617-645.
583 <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- 584 Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and
585 flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9.
586 <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- 587 Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric
588 gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, 106(1), 27-58.
589 <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.12.010>
- 590 Bub, D. N., Masson, M. E. J., & van Noordenne, M. (2021). Motor representations evoked by
591 objects under varying action intentions. *Journal of Experimental Psychology: Human*
592 *Perception and Performance*, 47(1), 53-80. <https://doi.org/10.1037/xhp0000876>
- 593 Cousineau, D. (2017). Varieties of Confidence Intervals. *Advances in Cognitive Psychology*,
594 13(2), 140-155. <https://doi.org/10.5709/acp-0214-z>
- 595 Dignath, D., Pfister, R., Eder, A. B., Kiesel, A., & Kunde, W. (2014). Representing the
596 hyphen in action–effect associations : Automatic acquisition and bidirectional retrieval
597 of action–effect intervals. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory,*
598 *and Cognition*, 40(6), 1701-1712. <https://doi.org/10.1037/xlm0000022>
- 599 Ellis, R. (2007). Grounding visual object representation in action. In B. Wallace, A. Ross, J.
600 Davies, & T. Anderson (Éds.), *The mind, the body and the world : Psychology after*
601 *cognitivism?* (2007-08849-012; p. 309-326). Imprint Academic.
- 602 Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : The potentiation of components of action
603 by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451-471.
604 <https://doi.org/10.1348/000712600161934>

- 605 Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3 : A flexible statistical
606 power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior*
607 *Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- 608 Ferri, F., Riggio, L., Gallese, V., & Costantini, M. (2011). Objects and their nouns in
609 peripersonal space. *Neuropsychologia*, 49(13), 3519-3524.
610 <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.001>
- 611 Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of
612 action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology: Human*
613 *Perception and Performance*, 36(2), 330-340. <https://doi.org/10.1037/a0017180>
- 614 Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects
615 automatically potentiate action : An fMRI study of implicit processing. *European*
616 *Journal of Neuroscience*, 17(12), 2735-2740. [https://doi.org/10.1046/j.1460-](https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02695.x)
617 [9568.2003.02695.x](https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02695.x)
- 618 Guerineau, R., Heurley, L. P., Morgado, N., Brouillet, D., & Dru, V. (2021). Anticipating the
619 magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable
620 objects. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01535-0>
- 621 Harrak, M. H., Heurley, L. P., Morgado, N., Mennella, R., & Dru, V. (2022). The visual size
622 of graspable objects is needed to induce the potentiation of grasping behaviors even
623 with verbal stimuli. *Psychological Research*. [https://doi.org/10.1007/s00426-021-](https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x)
624 [01635-x](https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x)
- 625 Heurley, L. P., Brouillet, T., Coutté, A., & Morgado, N. (2020). Size coding of alternative
626 responses is sufficient to induce a potentiation effect with manipulable objects.
627 *Cognition*, 205, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104377>
- 628 Hommel, B. (1993). *Inverting the Simon effect by intention*. 10.

- 629 Hommel, B. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, 136(2),
630 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- 631 Hommel, B. (2015). The theory of event coding (TEC) as embodied-cognition framework.
632 *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01318>
- 633 Hommel, B. (2019). Theory of Event Coding (TEC) V2.0 : Representing and controlling
634 perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(7), 2139-2154.
635 <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01779-4>
- 636 Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event
637 Coding (TEC) : A framework for perception and action planning. *Behavioral and*
638 *Brain Sciences*, 24(5), 849-878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- 639 Makris, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2011). Viewing objects and planning actions : On the
640 potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain and Cognition*, 77(2),
641 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.08.002>
- 642 Masson, M. E. J. (2015). Toward a deeper understanding of embodiment. *Canadian Journal*
643 *of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 69(2),
644 159-164. <https://doi.org/10.1037/cep0000055>
- 645 Matheson, H. E., & Thompson-Schill, S. L. (2019). Investigating grounded
646 conceptualization : Stimulus-response compatibility for tool handles is due to spatial
647 attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*,
648 45(4), 441-457. <https://doi.org/10.1037/xhp0000616>
- 649 Matheson, H., White, N., & McMullen, P. (2015). Accessing embodied object representations
650 from vision : A review. *Psychological Bulletin*, 141(3), 511-524.
651 <https://doi.org/10.1037/bul0000001>

- 652 Mathôt, S. (s. d.). *Bayes like a Baws : Interpreting Bayesian Repeated Measures in JASP //*
 653 *Cogsci*. Consulté 9 mars 2022, à l'adresse [https://www.cogsci.nl/blog/interpreting-](https://www.cogsci.nl/blog/interpreting-bayesian-repeated-measures-in-jasp)
 654 [bayesian-repeated-measures-in-jasp](https://www.cogsci.nl/blog/interpreting-bayesian-repeated-measures-in-jasp)
- 655 Memelink, J., & Hommel, B. (2013). Intentional weighting : A basic principle in cognitive
 656 control. *Psychological Research*, 77(3), 249-259. [https://doi.org/10.1007/s00426-012-](https://doi.org/10.1007/s00426-012-0435-y)
 657 [0435-y](https://doi.org/10.1007/s00426-012-0435-y)
- 658 Miles, J. D., & Proctor, R. W. (2015). Attention is captured by distractors that uniquely
 659 correspond to controlled objects : An analysis of movement trajectories. *Attention,*
 660 *Perception, & Psychophysics*, 77(3), 819-829. [https://doi.org/10.3758/s13414-014-](https://doi.org/10.3758/s13414-014-0801-5)
 661 [0801-5](https://doi.org/10.3758/s13414-014-0801-5)
- 662 Parise, C., & Spence, C. (2008). Synesthetic congruency modulates the temporal
 663 ventriloquism effect. *Neuroscience Letters*, 442(3), 257-261.
 664 <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.010>
- 665 Parise, C. V. (2015). Crossmodal Correspondences : Standing Issues and Experimental
 666 Guidelines. *Multisensory Research*, 29(1-3), 7-28. [https://doi.org/10.1163/22134808-](https://doi.org/10.1163/22134808-00002502)
 667 [00002502](https://doi.org/10.1163/22134808-00002502)
- 668 Parise, C. V., & Spence, C. (2009). 'When Birds of a Feather Flock Together' : Synesthetic
 669 Correspondences Modulate Audiovisual Integration in Non-Synesthetes. *PLoS ONE*,
 670 4(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005664>
- 671 Parise, C. V., Spence, C., & Deroy, O. (2015). Understanding the correspondences :
 672 Introduction to the special issue on crossmodal correspondences. *Multisensory*
 673 *Research*, 29(1-3), 1-6. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002517>
- 674 Pellicano, A., Iani, C., Maiorana, N. V., Horoufchin, H., Rubichi, S., Lugli, L., Nicoletti, R.,
 675 & Binkofski, F. (2020). Correspondence effect driven by salient visual asymmetries in

- 676 integral object stimuli. *Psychological Research*, 84(3), 728-742.
 677 <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1079-3>
- 678 Pellicano, A., Lugli, L., Binkofski, F., Rubichi, S., Iani, C., & Nicoletti, R. (2019). The
 679 unimanual handle-to-hand correspondence effect : Evidence for a location coding
 680 account. *Psychological Research*, 83(7), 1383-1399. [https://doi.org/10.1007/s00426-](https://doi.org/10.1007/s00426-018-1009-4)
 681 [018-1009-4](https://doi.org/10.1007/s00426-018-1009-4)
- 682 Perugini, M., Gallucci, M., & Costantini, G. (2014). Safeguard Power as a Protection Against
 683 Imprecise Power Estimates. *Perspectives on Psychological Science*, 9(3), 319-332.
 684 <https://doi.org/10.1177/1745691614528519>
- 685 Pfister, R. (2019). Effect-based action control with body-related effects : Implications for
 686 empirical approaches to ideomotor action control. *Psychological Review*, 126(1),
 687 153-161. <https://doi.org/10.1037/rev0000140>
- 688 Pfister, R. (2021). Variability of Bayes Factor estimates in Bayesian Analysis of Variance.
 689 *The Quantitative Methods for Psychology*, 17(1), 40-45.
 690 <https://doi.org/10.20982/tqmp.17.1.p040>
- 691 Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the Concept of Affordance Add Anything to
 692 Explanations of Stimulus–Response Compatibility Effects? *Psychology of Learning*
 693 *and Motivation*, 60, 227-266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8>
- 694 Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes
 695 factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(5), 356-374.
 696 <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>
- 697 Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh:
 698 Psychology Software Tools Inc.

- 699 Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of
 700 potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and*
 701 *Performance*, 24(3), 830-846. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.830>
- 702 Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object
 703 categorization. *Visual Cognition*, 8(6), 769-800.
 704 <https://doi.org/10.1080/13506280042000144>
- 705 Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta*
 706 *Psychologica*, 116(2), 185-203. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.01.004>
- 707 Veale, J. F. (2014). Edinburgh Handedness Inventory—Short Form : A revised version based
 708 on confirmatory factor analysis. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and*
 709 *Cognition*, 19(2), 164-177. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045>
- 710 Wagenmakers, E.-J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Love, J., Selker, R.,
 711 Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Rouder, J. N., & Morey, R. D.
 712 (2017). Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and
 713 practical ramifications. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 35-57.
 714 <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1343-3>
- 715 Walsh, V. (2003). A theory of magnitude : Common cortical metrics of time, space and
 716 quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483-488.
 717 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- 718 Xiong, A., Proctor, R. W., & Zelaznik, H. N. (2019). Visual salience, not the graspable part of
 719 a pictured eating utensil, grabs attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*,
 720 81(5), 1454-1463. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01679-7>

The verbal instruction in favour of action effects can influence the potentiation effect of grasping behaviours

Cette section est consacrée à l'article « *The verbal instruction in favour of action effects can influence the potentiation effect of grasping behaviours* » soumis et en cours de révision dans la revue *Current Psychology*. Comme pour les sections précédentes, la version la plus récente de cet article sera accessible à la suite de cette synthèse.

6.1 Objectif et protocole expérimental

L'objectif de cette dernière étude était de nous concentrer sur la manière dont l'intention pouvait influencer la prise en compte des effets perceptifs artificiels dans un protocole d'effet de potentialisation classique. En effet, suite aux résultats obtenus dans l'étude précédente, nous nous sommes interrogés sur la façon dont le but des participants quant à la tâche à réaliser venait influencer le codage des différents effets post-réponses, qu'ils soient naturellement produits par la réponse, comme les effets visuo-tactiles, ou artificiellement induits comme les effets sonores. Plus précisément, nous avons voulu tester les prédictions de la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019) selon lesquelles d'une part, tous les effets post-réponses d'une action seraient intégrés au codage de l'évènement (Hommel, 1993, 1996 ; Pfister, 2019), et d'autre part, le poids attribué à chacun des codes de ces effets dépendrait de leur adéquation avec le but du participant. Autrement dit, les effets post-réponses volontairement anticipés auraient plus de poids dans le codage de la réponse (Hommel, 1993 ; Memelink & Hommel, 2013 ; Pfister, 2019).

Concrètement, pour l'expérience 1 nous avons repris le protocole de la condition incongruente de l'étude précédente. Ainsi, à la suite du changement de couleur des objets, les participants répondaient en réalisant soit une saisie de force, soit une saisie de précision sur un dispositif particulier. Après chaque réponse en saisie de force un son aigu était systématiquement produit, et après chaque saisie de précision, un son grave était systématiquement produit. La modification par rapport à l'étude précédente portait sur la consigne utilisée. Pour le premier groupe, la consigne était de presser une touche en mimant un geste de saisie spécifique lorsque l'objet changeait de couleur (e.g., « lorsque l'objet passe en bleu, appuyez sur le bouton entre votre pouce et votre index »), tandis que le second groupe avait pour consigne de produire

un son particulier lorsque l'objet changeait de couleur (e.g., « lorsque l'objet passe en bleu, produisez un son grave »). De fait, le déroulé d'un essai était strictement identique pour les deux groupes puisqu'au changement de couleur une réponse par saisie devait être effectuée puis un son était produit. L'hypothèse sous-tendant cette expérience était que la consigne allait influencer la façon dont les participants coderaient les effets post-réponses en orientant leur intention soit sur le bouton de réponse/saisie, soit sur l'effet post-réponse artificiel. Ainsi, l'effet de potentialisation attendu devrait diminuer voire s'inverser dans la condition où la consigne portait sur le son à produire par rapport à la condition où la consigne portait sur le geste à produire.

Dans une seconde expérience, afin de tester si les résultats obtenus dans l'expérience 1 était tributaire ou d'un processus de simulation motrice, ou d'un processus de codage de la magnitude, nous avons placé le dispositif de réponse à plat tout en donnant comme consigne de produire les sons (pour une utilisation similaire du dispositif de réponse, voir Guerineau et al., en révision, a ; Heurley et al., 2020). Pour cette seconde expérience nous nous attendions donc à obtenir un effet de potentialisation peu ou prou identique à celui du groupe ayant précédemment reçu la consigne relative au son à produire.

6.2 Principaux résultats et discussion

Concernant l'expérience 1, les analyses ont révélé un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille de l'objet et le type de saisie, c'est-à-dire, que les temps de réponse étaient plus courts pour réaliser une saisie de force après la présentation d'un objet « grand », et plus courts pour réaliser une saisie de précision après la présentation d'un objet « petit ». Cependant, les analyses ont également révélé une diminution statistiquement significative de la taille de l'effet de potentialisation pour le groupe ayant reçu pour consigne de produire un son. En effet, dans ce cas, la taille d'effet de potentialisation était de 13 ms alors que celle du groupe ayant reçu pour consigne de presser les touches en mimant un geste de saisie était de 25 ms.

Les résultats de l'expérience 2 sont plus ambigus. En effet, un pattern similaire a été trouvé pour l'effet de potentialisation, à savoir une facilitation pour appuyer sur l'une des touches lorsque sa taille correspondait à la taille de l'objet présenté. La taille d'effet était de 21 ms ce qui, à première vue, correspondrait plus ou moins à la taille d'effet obtenue dans la condition où la consigne portait sur le fait de presser les touches en mimant un geste de saisie dans l'expérience 1. Une telle correspondance de taille d'effet entre ces deux conditions pourrait suggérer que l'effet de potentialisation obtenu dépendrait de la compatibilité entre la taille des objets et la taille des touches et n'intégrerait pas la magnitude des sons dans le codage de la réponse.

Cependant, nous avons aussi constaté une augmentation de la moyenne des temps de réponse dans cette expérience par rapport à l'expérience 1. Plus précisément, nous avons relevé une augmentation

des temps de réponse généraux de 60 ms dans cette expérience par rapport à la précédente. De fait, il est difficile d'affirmer avec certitude que, contrairement à notre hypothèse, l'effet obtenu dans cette expérience soit similaire à celui du groupe de l'expérience précédente ayant eu pour consigne de presser les touches en mimant un geste de saisie. Il se peut au contraire que cette augmentation générale ait également entraîné une augmentation de la taille d'effet de potentialisation ne reflétant pas le phénomène sous-jacent. Afin de résoudre cette ambiguïté, nous avons standardisé les résultats de chaque expérience afin de les ramener à une échelle de mesure commune pour ensuite réaliser une analyse inter-expérience. Les résultats suggèrent que l'effet de potentialisation du groupe de l'expérience 2 (i.e., 0.19) serait en réalité de taille similaire à celui du groupe de l'expérience 1 ayant eu la consigne portant sur le son à produire (i.e., 0.18) et non à celui du groupe ayant eu la consigne relative à la touche à presser (i.e., 0.36).

Ce dernier résultat laisse à penser que la prise en compte des effets post-réponses dans le codage serait sensible aux consignes données, et donc à l'intention induite chez les participants. Toutefois, le fait que les effets de potentialisation n'aient pas été inversés pour les groupes dont la consigne était de produire des sons semble suggérer une forme de prédominance des effets visuo-tactiles découlant des interactions avec les touches de réponses dans le codage.

6.3 Conclusions

Sur la base de nos résultats, il est actuellement délicat de déterminer si l'apparente prédominance des effets visuo-tactiles reposerait sur une forme de biais en faveur de ce type d'effet, ou si elle serait due au protocole utilisé qui induirait une intention majoritairement orientée vers la touche à utiliser. Cependant, cette apparente prédominance des effets post-réponses visuo-tactiles au détriment des effets post-réponses sonores ne peut être considéré comme une preuve irréfutable en faveur de l'approche simulationniste, que ce soit pour cette étude, ou celle de Guerineau et al. (en révision-a), puisque nous retrouvons cette même prédominance y compris dans un protocole où les réponses ne s'effectuent, non plus par des saisies, mais par de simples pressions.

**The verbal instruction related to action effects can influence the potentiation
effect of grasping behaviours**

Ronan Guerineau  <https://orcid.org/0000-0003-0583-3987>

Loïc P. Heurley  <https://orcid.org/0000-0002-8185-6083>

Hamza Sabek  <https://orcid.org/0000-0002-2277-0191>

Denis Brouillet  <https://orcid.org/0000-0003-0643-7345>

Vincent Dru  <https://orcid.org/0000-0001-5152-0995>

The datasets, the stimuli, and the E-Prime script of the experiments are available at <https://osf.io/rmkj4/>.

We have no conflict of interest to disclose.

All procedures conducted in our studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Correspondence concerning this article should be addressed to Ronan Guerineau or Loïc Heurley, Laboratoire sur les Interactions Cognition, Action, Émotion (LICAÉ) – Université Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France.

E-mail: ronan.guerineau@wanadoo.fr ; heurleyloic@yahoo.fr

Abstract

Seeing large or small objects potentiates power and precision grip, respectively. According to the motor-simulation account, this potentiation effect reflects an automatic access to object representation, including the grip usually associated with the object. Alternatively, this effect might be due to an overlap between magnitude codes used to code both manipulable objects and responses outcomes. In Experiment 1, participants saw objects usually grasped with power or precision grip and had to mimic these gestures on a specific device. Responses on the large switch (e.g., power grip) always produced a high tone (i.e., a small magnitude perceptual outcome) while responses on the small switch (e.g., precision grip) always produced a low tone (i.e., a large magnitude perceptual outcome). We also manipulated the instructions: one group of participants was instructed to perform specific grips while the other was instructed to produce specific tones. Consistent with the motor-simulation account, RTs were shorter when objects and grips were compatible than when they were not, independently of the magnitude of the post-response outcome. However, consistently with the magnitude coding hypothesis: (1) a potentiation effect was found when the grasping component of responses was removed, and (2) the average size of the potentiation effect was smaller when the instructions focused on tones. Accordingly, results suggest that the potentiation effect could be due to a magnitude coding of responses, itself dependent on the size of switches. Results also support a permeability of this coding to an influence of intentional processes associated to the processing of action outcomes.

Keywords: Stimulus-Response Compatibility; Motor simulation; Embodied Cognition; Potentiation Effect; Magnitude hypothesis

Introduction

How people can link perception and action is a major concern in cognitive sciences. A relevant way to investigate this topic consist in using the potentiation effects, a particular case of Stimulus-Response Compatibility (SRC) effects where the presented stimuli are manipulable objects. In a seminal study, Tucker and Ellis (1998) reported that manipulable objects with handles oriented toward the left or right (e.g., a mug) relative to the participants' medial sagittal axis facilitated the production of manual responses occurring in the same location. Since this work, a myriad of studies has been designed to better understand the neurocognitive processes involved (for a review, see Matheson et al., 2015). In this article, we will specifically focus on the potentiation effect of grasping behaviours in which the mere perception of a manipulable objects typically grasped with a power grip (e.g., a banana) or a precision grip (e.g., a raspberry) induced shorter response times (RTs) when participants have to mimic a compatible rather than an incompatible grip on a specific device (Ellis & Tucker, 2000, Tucker & Ellis, 2001, 2004; Makris et al., 2011). This paradigm is particularly relevant because it allows to test predictions of two explanations of this effect¹.

The most widely accepted hypothesis assumes the involvement of a motor simulation process (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007). Concretely, at the presentation of a manipulable object, participants automatically simulate the grasping action usually performed with the object (even if participants are not instructed to grasp it). Therefore, this simulation (covertly and automatically) prepares, and then facilitates, the compatible response. It is noteworthy that the simulated action would depend on the accumulation of sensorimotor experiences from past interactions with the presented object. Accordingly, this potentiation effect would be due to a matching between the grasp performed (i.e., response) and the one usually associated to the objects (i.e., the simulated grasp). This account has been particularly influential during the last 20 years especially because it is in accordance with the embodied view of conceptualization (e.g., Barsalou, 2008).

However, recent works challenge this explanation (Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021; Harrak et al., 2022) and support an alternative account based on the Theory of Event Coding (TEC; Hommel et al., 2001; Hommel, 2015, 2019). The potentiation effect of grasping

¹ We did not focus on the potentiation effect of lateralized responses initially reported by Tucker and Ellis (1998) because a lot of studies have been already developed to decide between various explanations of this effect (for a review, see Proctor & Miles, 2014; for a metaanalysis, see Azaad et al., 2019).

behaviours, as any others SRC effects, would be instead due to the matching of spatial codes associated to both stimuli and responses. Hommel (2011) exemplified this possibility in the case of the Simon effect. Left vs right stimuli would be automatically coded along the horizontal axis by a left vs right code. At the level of responses, the TEC assumes that each response would be also coded but this time, according to the perceptual outcomes of the responses. For instance, when participants have to press a switch located on the left vs right side, responses induce perceptual outcomes located on the same side (e.g., visual outcomes of the finger pressing the switch or auditory outcomes of the click of the switch). Therefore, in this view, responses would be coded as left and right, not because of the hand used, but because of the location of the outcomes produced by the responses (for a review of supporting evidence, see Hommel, 2011).

Recently, Guerineau et al. (2021) applied this rationale to the potentiation of grasping behaviours. They argued that this phenomenon could be attributed to an overlap between the magnitude codes used for coding manipulable objects and responses outcomes. More precisely, because objects associated to a power grip (e.g., an apple) are seen (or known to be) larger than objects associated to a precision grip (e.g., a cherry), these could be respectively coded as 'large' and 'small' (for supporting evidence, see Harrak et al., 2022). Similarly, at the response level, Guerineau et al. (2021) assume the possibility that power and precision grip responses could induce perceptual outcomes that could be coded along the magnitude dimension. For instance, power grip responses were performed on a larger switch than precision grip responses leading to larger visuo-tactile outcomes in the former case. In a nutshell, perceptual outcomes automatically induced by power or precision grip responses could favour their coding as large and small, respectively. Accordingly, when the magnitude code associated to the response matches the one associated to the object (e.g., an apple/power grip), a “potentiation” effect should occur.

Guerineau et al. (2021) reported a potentiation-like effect supporting this hypothesis. In their experiments based on the study of Heurley et al. (2020), participants saw objects associated to a power or precision grip in orange or blue (e.g., apple vs cherry). According to the colour, participants have to press one switch among two of the same size, either with their index-finger or with their palm-hand. In order to manipulate the post-responses perceptual outcomes, one switch always induced a low tone while the other always induced a high tone. This choice was motivated by cross-modal correspondences models which consider low and high tones as crossmodally associated with the “large” and “small” magnitude (e.g., Parise et al., 2015). Faster RTs were observed when the post-response tone matched the object size (e.g.,

an apple/low tone response) compared to the condition where both mismatched. This result suggests that, even if the response is not a grasping gesture closed to the one associated to objects, a potentiation-like effect could be observed as long as the object and the post-responses perceptual outcomes share a compatible magnitude.

In the current work, we want to go further and test a specific prediction of the TEC. According to this theoretical account, every perceptual outcome associated to an action are integrated into the response coding (Hommel, 1993, 1996; Pfister, 2019). However, data gathered over the past two decades support a more important weight of the outcomes that are intentionally produced to achieve the task (see Hommel et al., 2001; Hommel, 1993, 2011). For instance, regarding the Simon effect, Hommel (1993) designed an experiment in which the lateralized switches (i.e., responses) induced a flashing light on the opposite side (i.e., perceptual outcomes). When participants were explicitly instructed to turn on the lateralized lights (and no longer to press the switches), the reported Simon effect depended on the side of the light on instead of the switches. Thus, it seems that the Simon effect would depend on the outcomes emphasized by the verbal instructions (for converging evidence, see Wang et al., 2007). More generally, it is possible to argue that each response induces various perceptual outcomes at the same time, and the intention of the participants could modulate the ones used to code the responses (Pfister, 2019; Memelink & Hommel, 2013).

Accordingly, we aim to test this prediction in the case of the potentiation effect of grasping behaviours following a similar method. Indeed, whether the potentiation effect is effectively due to a compatibility of magnitude codes (Guerineau et al., 2021), this effect should be sensitive to intentional processes at the level of response coding. Thus, in each trial, participants saw an object associated to a power or precision grip (e.g., apple vs. cherry). According to its colour (i.e., orange vs. blue), the participants had to perform either a power or precision grip response. To induce a possible competition between various actions codes, each response induced an incongruent tone: power grip responses always induced a high tone while precision grip responses always induced a low tone. In this case, perceptual outcomes induced by the grip used (e.g., power grip) should be associated to a magnitude code (i.e., large) opposite to the one associated to the tone (i.e., high tone = small code). Such protocol allowed us to assess whether the potentiation effect would primarily depend on the employed grip (i.e., power vs. precision grip) or on the induced tone (i.e., low vs. high tone). Moreover, participants were instructed either to press a switch according to the colour or to induce a specific tone according to the colour. Thus, as Hommel (1993, see also Wang et al., 2007; Zwosta et al., 2013;

Theeuwes et al., 2014), we used the verbal instructions to modulate which perceptual outcomes have to be intentionally produced by the participants. More precisely, in Experiment 1a (named the “switch-instruction group”), participants were instructed to perform a power grip on the large switch, and a precision grip on the small switch depending on the colour of the object (e.g., an object turned to blue indicate a precision grip). Therefore, in this case, switch-related outcomes have to be intentionally produced. Instead, in Experiment 1b (named the “tone-instruction-group”), participants were instructed to generate a low or a high tone depending on the colour of the object (e.g., an object turned to blue indicate to generate a low tone). Thus, this time the auditory outcomes have to be intentionally produced.

Theoretically, in these experiments, the motor-simulation, and the magnitude-coding account both performed different predictions. The first predicts a potentiation effect depending on the grip used, independently of the tone produced, and this effect should not be modulated by the verbal instructions. From this viewpoint, the potentiation effect only depends on the proximity between the actual grasping response and the grasp associated to the object seen (i.e., the simulated one), regardless of the perceptual outcomes induced or the task used. Instead, the magnitude-coding account predicts a potentiation effect depending on the grip used for the switch-instruction group and depending on the induced tone for the tone-instruction group. Indeed, according to the verbal instructions, the participants should code their responses according to either the perceptual outcomes related to switches (i.e., the switch-instruction group) or because of the auditory outcomes (i.e., the tone-instruction group).

To strengthen our conclusions, we conducted an additional experiment following the same procedure as the “tone-instruction group” but, this time, participants did not have to perform a power or precision grip but have to press a large or small switch (as in Heurley et al., 2020). Our goal was to directly test whether the results reported in Experiment 1 critically depends on the grip used (power vs precision grip) as advocated by the motor simulation account or depends on the size of switches (large vs small) as it could be argued by the magnitude-coding account.

Experiment 1

Method

Participants.

To determine an appropriate sample size, we conducted an a priori power analysis using G*Power 3 (Faul et al., 2007). Because we want to investigate the possible influence of responses' outcomes on the potentiation effect, we based our analysis on the Object Size x Post-response Outcomes interaction reported by Guerineau et al. (2021) which had an effect size of $\hat{\eta}_p^2 = 0.17$. We wanted to have a safeguard against a potential overestimation of the effect in their analysis (see Perugini et al., 2014). Thus, we used the lower limit of the 60% CI with $\hat{\eta}_p^2 = 0.11$. The results indicated that a minimum of 41 participants was required to detect an effect size as large as in a within-subject design with 90% statistical power ($\alpha = 0.05$).

Accordingly, we decided to recruit 42 participants per group (i.e., the switch-instruction group and the tone-instruction group) for a total of 84 participants. The switch-instruction group was composed of 23 females and 19 males and included nine left-handers ($m_{\text{age}} = 20.7$, $s_{\text{age}} = 2.6$). The handedness was asked at the beginning of the experiment and controlled at the end with the 4-item Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014). The tone-instruction group was composed of 16 females and 26 males and included nine left-handers ($m_{\text{age}} = 20.1$, $s_{\text{age}} = 1.4$). They were all student at the University Paris Nanterre, and they reported a normal or corrected-to-normal visual acuity, no colour perception (e.g., colour-blindness) nor hearing issues. All participants were naive to the goal of the experiment and were assigned randomly to one of the possible groups (i.e., the switch-instruction group vs. the tone-instruction group). This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017). Participants were volunteers, provided their written informed consent to participate without remuneration, and were debriefed at the end of the experiment.

Material and apparatus.

We used pictures of fruits and vegetables as stimuli: six were large objects commonly grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon and pear) and six were small objects commonly grasped with a precision grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish and strawberry). These objects have already been used by Heurley et al. (2020) and Guerineau et al. (2021; see also Harrak et al., 2022). The objects were presented in three possible versions (i.e., grayscale, blue, and orange) on a white background in a visual size corresponding to their actual size (large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm).

We also employed a homemade response device (see Fig. 1) inspired by the one originally used by Ellis and Tucker (2000). It consisted of a two-components device that should be held in a single hand. The first component was a small cube (1 cm³) containing a small switch that required simultaneous pressure between the thumb and index finger (i.e., mimicking a precision grip) to be activated. The second component was a larger PVC cylinder (10 cm tall and 3 cm in diameter) with a switch placed on the free side of the cylinder, which required to be pressed between the palm of the hand and participants' middle, ring and little fingers (i.e., mimicking a power grip).

We also used two tones: a low tone (120 Hz) and a high tone (900 Hz). These tones were the same as the ones used by Guerineau et al (2021). Frequencies were chosen according to the frequencies commonly used in cross-modal experiments (e.g., Parise, et al., 2015).

The pictures of the objects, the tones used were all available online as supplementary material (<https://osf.io/rmkj4>).

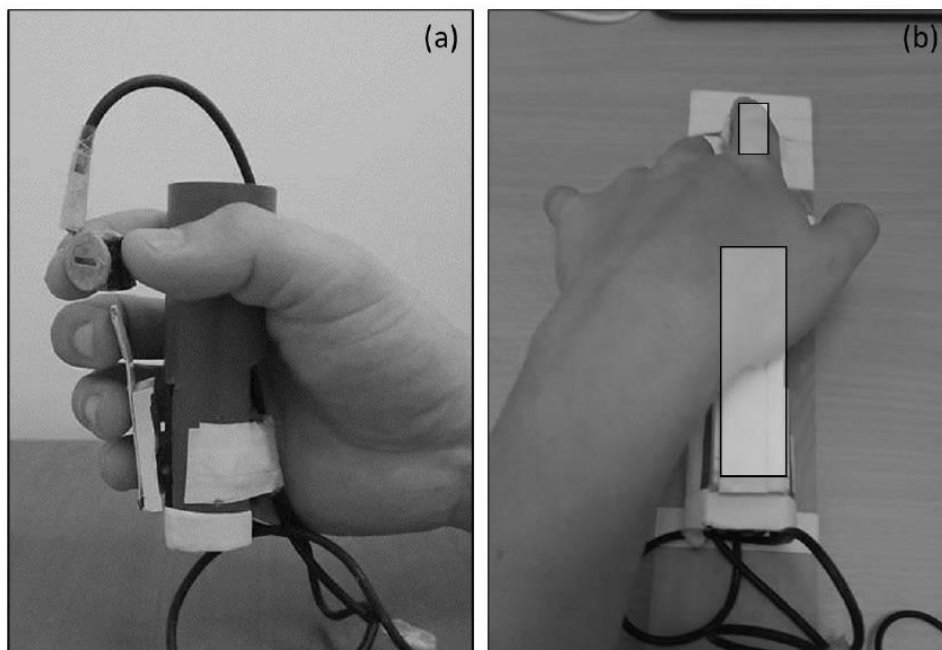


Figure 1. Response device for (a) Experiment 1 and (b) Experiment 2. Transparent white squares were added on picture (b) to clarify the location and size of the switches, and how participants had to press them.

Procedure.

The experiment took place in a quiet room where each participant was seated at about 60 cm from the monitor (size: 23.8"; refresh rate: 60 Hz). It started with the participant signing a consent form and lasted about 20 minutes. The computer sound was set at 10% and participant heard tones through basic headphone. The stimuli presentation was controlled by the E-Prime 2.0 software (Schneider, Eschman & Zuccolotto, 2002) and was composed of two successive phases detailed below.

The preliminary phase. Its aim was to verify that each participant accurately identified the fruits and vegetables used as stimuli (for a similar precaution, see Bub et al. 2008, Heurley et al., 2020, Guerineau et al., 2021; Harrak et al., 2022). The twelve objects were presented successively with their corresponding names written below. Participants were merely instructed to read aloud the name of each item. The duration of each picture was controlled by the experimenter and the order of the pictures was randomized. In a second phase, the same procedure was repeated except that the objects were presented without their names.

Test phase. Each trial began with a fixation cross presented in the centre of the screen (500 ms) that is immediately followed by the pictures of an object presented in greyscale during 200, 400 or 800 ms. We manipulated this duration to avoid an automatization of the responses (see Guerineau et al., 2021 for a similar precaution). Then, the pictures became orange or blue and the participants were instructed to categorize the colour as quickly and accurately as possible. Responses were either a power or precision grip. Consecutively to the participant's response, a blank screen was displayed for 2500 ms. During this last screen, a tone was delivered as a post-response outcome during the first 1000 ms. Whatever the group, the low tone was always induced after a precision grip response while the high tone was always delivered after a power grip response. Participants started this phase with 16 familiarisation trials and then completed 192 test trials (8 stimuli x 4 repetitions x 2 colours x 3 delays).

Even whether, both groups have to perform a power or precision grip, the instructions significantly differed. For the switch-instruction group, participants were instructed to carry out a power or precision grip with their dominant hand according to the object colour (e.g., power grip for orange vs. precision grip for blue²). The exact instruction for one subgroup was: "When

² The mapping between grasping responses (power grip vs. precision grip) and colours (orange vs. blue) was counterbalanced between participants as much as possible with a random assignation. Thus, for the switch-instruction group, both mapping group "power grip/blue-precision grip/orange" and "power grip/orange-precision

the object turns blue, presses the switch between your thumb and your index finger (i.e., the precision grip), while when it turns orange, presses the other switch with the other fingers (i.e., the power grip)". The other subgroup received the reversed instruction. Coloured stickers (i.e., blue vs. orange) were placed on the corresponding switches to help the participants to remind the mapping between the switches and the colours. For the tone-instruction group, participants were instructed to generate a specific tone according to the object colour. The exact instruction for one subgroup was: "When the object turns blue, generates a low tone while when it turns orange, generates a high tone". The other subgroup received the reversed instruction³. Coloured stickers (i.e., blue vs. orange) were applied on a notecard which was placed under the screen, in front of the participant, as a reminder of the instruction (e.g., blue sticker = low tone and orange sticker = high tone). Contrary to the switch-instruction group, participants were not instructed a priori about the grasping gesture producing the relevant outcomes, they solely known that they have to use the response device with their dominant hand. In other words, participants were informed about the outcomes they had to produce, but not about the grasping response that produce it. Hence, during the first familiarisation trials, participants had to respond more or less randomly to learn which grasping response produce which tone. We used this method to focus the participants' attention on the tone as well as to avoid that the participants bypassed our instructions and merely assigned each colour to one possible grasping response.

After this test phase, participants answered the 4-item Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014) as well as a short questionnaire to provide complementary information on possible vision and hearing impairments, feedback on the use of the device, and on their understanding of the purpose of the post-experiment questionnaire.

Results

For each participant, we calculated a potentiation effect of grasping behaviours because our main hypotheses concerned a modulation of this effect by the auditory outcomes and/or by

grip/blue" were of 21 participants. For the tone-instruction group, the mapping groups were of 22 and 20 participants, respectively.

³ Therefore, like for the switch-instruction group, the mapping between each response (high tone vs. low tone) and colours (orange vs. blue) was counterbalanced between participants. There are also two subgroups, each composed of 21 randomly assigned participants.

the verbal instructions. More precisely, for each participant, we subtracted the mean RTs for the compatible condition (i.e., the condition in which the object size and the grasp matched: large objects/power grip and small objects/precision grip) to the mean RTs for the incongruent condition (i.e., the condition in which the object size and the grasp mismatched: large objects/precision grip and small objects/power grip). Thus, our dependant variable was an estimation of the size of the potentiation effect. A positive value signified a classic potentiation effect (i.e., shorter RTs in the compatible rather than in the incongruent) while a negative value signified a reversed potentiation effect (i.e., shorter RTs in the incongruent rather than in the compatible condition).

Before performing this transformation of RTs, we first removed RTs of familiarization trials, of incorrect trials (switch-instruction group: 2.11 %; tone-instruction group: 2.32 %) and RTs below 200 and 1200 ms (switch-instruction group: 1.29 %; tone-instruction group: 1.51 %) as in previous studies (Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021). It is noteworthy that the RTs is defined as the duration between the presentation of coloured object and the response (i.e., the trigger of the switch).

We examined the potentiation effect through a one-way ANOVA on the JAMOVI software (2021) and STATISTICA software (2007) with participants as a random variable and the instruction group (switch-instruction group vs. tone-instruction group) as a fixed between-participant independent variable. The ANOVA revealed a statistically significant effect of the intercept, $F(1, 82) = 72.35, p < .001, \hat{\eta}_p^2 = .47$, indicating that the potentiation effect, whatever the instruction group, significantly differed from 0 ($m = +19$ ms with a 95% CI of [14, 24]; $s = 21$). This effect was significantly moderated by the instruction group, $F(1, 82) = 7.05, p = .01, \hat{\eta}_p^2 = .08$, with a smaller but still positive potentiation effect for the tone-instruction group ($m = +13$ ms with a 95% CI of [6.7, 19.4]; $s = 21$) compared to the switch-instruction group ($m = +25$ ms with a 95% CI of [18.8, 31]; $s = 20$) (Fig. 2). We also ran two additional planned comparisons to examine whether the potentiation effect for each instruction group differ from 0. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), planned comparisons revealed that the size of the potentiation effect significantly differed from 0 for both the switch-instruction group, $F(1, 82) = 62.3, p < .0001, \hat{\eta}_p^2 = .43$, and the tone-instruction group: $F(1, 82) = 17.11, p < .001, \hat{\eta}_p^2 = .17$.

Analyses and raw data were available online (<https://osf.io/rmkj4>).

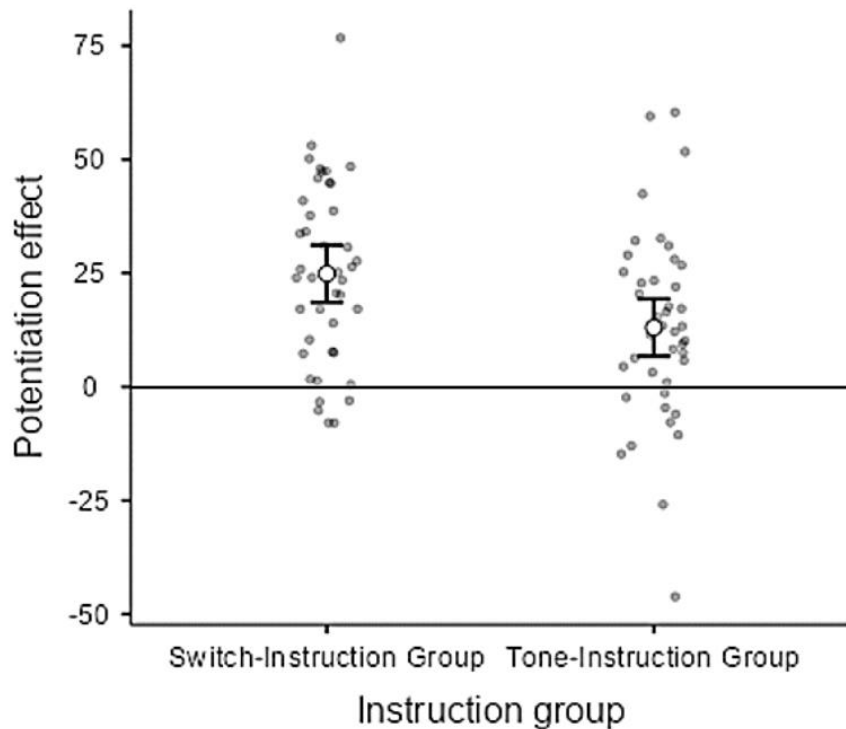


Figure 2. Mean potentiation effect (in ms) of Experiment 1 according to the instruction group (switch-instruction group vs. tone-instruction group). Large markers represent condition means and error bars represent 95% within-participants confidence intervals for the means calculated with ESCI module for JAMOVI (Cumming, 2014; for a standard terminology for SE and CI, see Cousineau, 2017). Small grey markers indicate subject means in each condition.

Discussion

We aimed to test whether the potentiation effect of grasping behaviours (Ellis et al., 2000; Tucker & Ellis, 2001) could be due to a compatibility of magnitude codes (Guerineau et al., 2021), and whether this effect should be sensitive to intentional processes in line with the TEC (Hommel et al., 2001). Therefore, we used a classic protocol (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001, 2004; Harrak et al., 2022) but in which each grasp response induced an auditory post-response outcomes. To disentangle between both hypotheses, the magnitude codes associated to the grasps and those associated to the auditory post-response outcomes were

always incongruent (e.g., power-grip responses induced a high tone). We also manipulated the intention of the participants through the instructions. For one group, the instructions increased the relevance of switch-related outcomes while for the other, the instructions increased the relevance of the auditory outcomes. Two results are of the primary importance.

First of all, whatever the experimental group, we found a potentiation effect driven by the compatibility between the object and the grip rather than between the object and the tone of the auditory outcomes. Therefore, when the device allowed to mimic a power and precision grip responses, the potentiation effect seems mainly driven by a compatibility at a grip level that is in line with the motor simulation account (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007). Additionally, this result is in contradiction with the one of Guerineau et al. (2021) who find a potentiation-like effect driven by the tone of the auditory outcomes when the responses were mere keypress on same-size switches. Second, the instructions modulated the size of the potentiation effect. More precisely, when the instructions implied that the auditory outcomes have to be intentionally produced, the potentiation effect is smaller (i.e., 13 ms) than when the instructions increased the relevance of switch-related outcomes (i.e., 25 ms). Such decrease of the effect size is in line with the hypothesis that, even whether switch-related outcomes predominate, the magnitude code associated to the auditory outcomes can be integrated when the task specifically focuses participants' attention on these outcomes in line with previous results (e.g., Hommel, 1993). This integration would therefore modulate the magnitude coding of response and, in turn, decrease the potentiation effect driven by switch-related outcomes. More concretely, when the task focused on the production of auditory outcomes, a power-grip response is less coded as "large" because the "small" code of the high tone produced is more integrated. In a nutshell, our current results support that the potentiation effect could be due to a matching between the simulated and the actual grasp, and support also the possibility that auditory outcomes were able to modulate this effect when their relevance was highlighted because of the instructions.

However, a critical question remains unresolved. Indeed, for both groups, the potentiation effect seems to depend on the grasping responses, but the exact processes involved could be questioned. Of course, it is possible to argue that the effect is due to a matching between the simulated and the actual grasp as advocated by the proponents of the motor simulation account of the potentiation effects (Barsalou, 2008; Borghi & Riggio, 2015; Ellis, 2007). But it is also possible that the effect is rather due to a compatibility of magnitude codes associated to the objects and to the switches used to respond. Recently, Heurley et al. (2020)

reported a potentiation-like effect when the participants have merely to press a large vs small switch. Indeed, seeing an apple for instance facilitated to press a large rather than small switch. In our current work, when participants were instructed to mimic a power grip, they have to press a large switch (10 cm tall and 3 cm in diameter) while when the participants were instructed to mimic a precision grip, they have to press a small switch (i.e., 1 cm³). Therefore, it is possible that, in both groups, the effect is actually driven by the size of switches (that is confounded with the kind of grasp). To directly test such a possibility, we conducted an additional experiment in which the participants have to press a large vs small switch as in Heurley et al. (2020). More precisely, they were instructed to produce a high or low tone according to the colour of the objects like in the tone-instruction group of Experiment 1, and the high tone was produced by large-switch responses while the low tone was produced by small-switch responses.

Experiment 2

Method

Participants

Based on the power analysis conducted for Experiment 1, we again recruited 42 students (27 females and 15 males, including four left-handers; $m_{\text{age}} = 21.31$, $s_{\text{age}} = 2.99$) who reported having a normal or corrected-to-normal visual acuity, no colour perception (e.g., colour blindness) nor hearing issues. The handedness was asked at the beginning of the experiment and controlled at the end with the 4-item Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014). All participants were naive to the goal of the experiment. This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017). Moreover, participants provided their written informed consent before participating and were debriefed at the end of the experiment.

Material, apparatus, and procedure

This experiment was in all respect the same as Experiment 1 for the tone-instruction group, except that the response device was laid horizontally on the table as in Heurley et al. (2020). Thus, participants responded with their dominant hand by pressing the large switch (corresponding to the power-grip in Experiment 1) with their palm and the small switch (corresponding to the precision-grip in Experiment 1) with the forefinger. The device was

settled to a board, itself installed on the table right in front of the participants (Fig. 1). Our goal was to remove the grasping component of the responses. It is noteworthy that the instructions invited the participants to generate a specific tone according to the object colour (i.e., tone-instruction group). As in Experiment 1, the mapping between responses (power switch vs. precision switch) and colours (orange vs. blue) was counterbalanced between participants as much as possible with a random assignment with 24 participants for the mapping group “power switch/blue-precision switch/orange”, and 18 participants for the mapping group “power switch/orange-precision switch/blue”.

Results and discussion

As in the previous experiment, we calculated a potentiation effect based on RTs of the test phase after having removed incorrect trials (1.45 % of data) and RTs below 200 ms and above 1200 ms (2.67 % of data). In this experiment, for each participant, we subtracted the mean RTs for the compatible condition (i.e., the condition in which the object size and the switch size matched, e.g., large objects/power grip) to the mean RTs for the incongruent condition (i.e., the condition in which the object size and the switch size mismatched, e.g., large objects/precision grip). A positive value signified therefore a potentiation-like effect drove by the size of the switches rather than by the magnitude of the auditory outcomes. We examined such a potentiation effect through a t-test with participants as a random variable. The t-test revealed a potentiation effect significantly greater than 0: $m = +21$ ms [13, 30]; $s = 28$; $t(41) = 4.98$, $p < .001$, Cohen’s $\delta = 0.77$ [0.42, 1.11]. Therefore, as Heurley et al. (2020), we found a potentiation-like effect drove by the size of the switches despite the fact that the grasping component of responses was removed. Implications of this last result are directly discussed in the General Discussion.

Between-experiment analysis with standardized data

In this analysis, our goal was to directly compare the data of Experiment 1 and 2. More precisely, in Experiment 2, the participants were instructed to produce a tone as in the tone-instruction group of Experiment 1. Interestingly, the size of the potentiation effect in Experiment 2 is around +21 ms that seems closer to the potentiation effect for the switch-instruction group of Experiment 1 (+25 ms) than for the tone-instruction group (+13 ms). Accordingly, at first sight, it could be developed that when the responses are merely keypress,

the instructions failed to modulate the effect. In other words, the tone would not be integrated as it seems the case in Experiment 1 for the tone-instruction group. However, it is noteworthy that this difference is difficult to directly interpret because there is also a difference at the level of the mean RTs between Experiment 1 and 2. More precisely, RTs in Experiment 1 ($m = 478$ ms; $s = 70$) are smaller than RTs in Experiment 2 ($m = 544$ ms; $s = 112$). Therefore, it is possible that in Experiment 2, the potentiation effect (+21 ms) is greater than the one of the tone-instruction group of Experiment 1 (+13 ms) only because RTs are greater in Experiment 2. To better compare the potentiation effects found in both experiments, we standardized them for each participant (i.e., Z-scores). Then, we performed both a classic frequentist and a Bayesian analysis.

Method

In this new analysis, we combined the data from each experiment ($N_{\text{full dataset}} = 126$, $N_{\text{switch-instruction group}} = 42$, $N_{\text{tone-instruction group}} = 42$, and $N_{\text{Experiment 2}} = 42$). We did not detail the procedure and the material that were already described in previous sections. Moreover, we reused the same data filtering that was identical in both experiments.

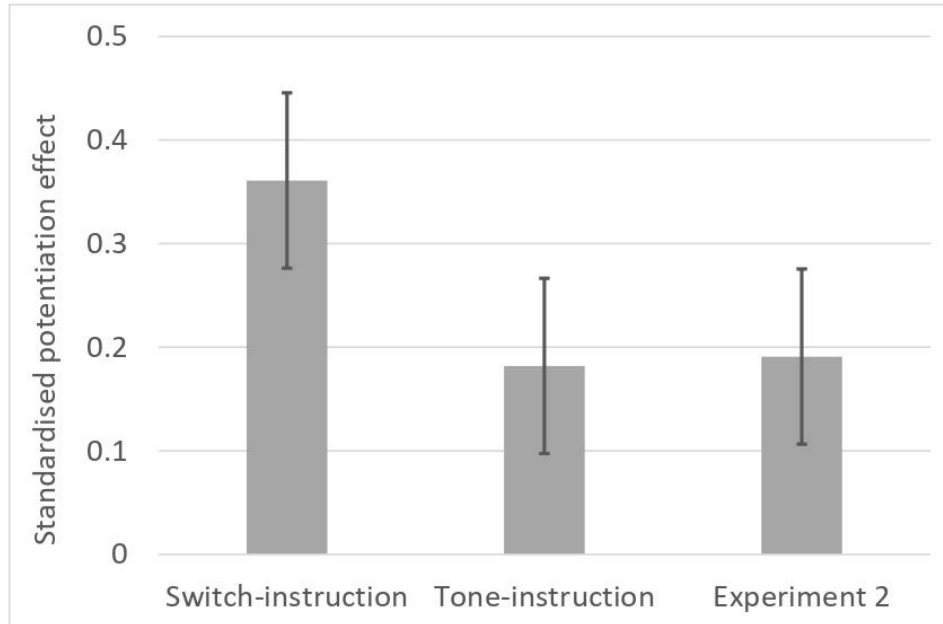
Then, to ensure the comparability of these experiments and to remove a possible influence of the response gesture, we standardized the associated potentiation effect for each experiment and for each participant. More precisely, to standardise the different RTs into Z-scores, we have, experiment by experiment, subtracted the mean RT of the experiment to each individual RT and divided this result by the standard deviation of the experiment. Standardising the RTs in this way allows us to align our experiments on the same scale of comparison with a mean RT equal to 0 and a standard deviation equal to 1. For instance, the Z-score for a participant of the switch-instruction group ($m = 481$ ms; $s = 68$) with a RT = 439 ms is: $Z\text{-score} = \frac{RT-m}{s}$; $\therefore -0.60 = \frac{439-481}{68}$. As in previous experiments, positive values signified a potentiation effect drove by the grip/size of the switches while negative values signified a potentiation effect drove by the tone (standardised data are available at <https://osf.io/rmkj4>).

Results and discussion

The classical frequentist analyses. We examined the standardized potentiation effect with a one-way ANOVA with the participant as a random factor and the group (switch-

instruction group vs tone-instruction group vs Experiment 2)⁴ as a fixed between-subject independent variable.

The ANOVA revealed a statistically significant effect of the intercept, $F(1, 123) = 97.99, p < .001, \hat{\eta}_p^2 = .44$, indicating that the standardized potentiation effect, whatever the experiment, significantly differed from 0 ($m = +0.25 [-0.64, +1.11]; s = 0.29$). This effect was significantly moderated by the experiment, $F(2, 123) = 5.56, p = .005, \hat{\eta}_p^2 = .083$ (Fig. 3). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .017$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), planned comparisons showed that the potentiation effect was significantly greater for the switch-instruction group ($m = +0.36 [-0.12, +1.12], s = 0.29$) than for the tone-instruction group ($m = +0.18 [-0.64, +0.85], s = 0.29$): $F(1, 123) = 8.77, p < .005, \hat{\eta}_p^2 = .07$, and the potentiation effect was significantly greater for the switch-instruction group than for Experiment 2 ($m = +0.19 [-0.28, +0.80], s = 0.25$): $F(1, 123) = 7.87, p = .006, \hat{\eta}_p^2 = .06$. However, planned comparisons did not showed a significant difference between the tone-instruction group and Experiment 2: $F(1, 123) = 0.02, p = .88, \hat{\eta}_p^2 = .00$.



⁴ It is noteworthy that the switch-instruction group of Experiment 1, the tone-instruction group of Experiment 1 and the tone-instruction group of Experiment 2, could be considered as 3 modalities of a single variable manipulated in a between-subject design.

Figure 3. Mean standardised potentiation effect of both experiments according to the (switch-instruction group vs. tone-instruction group vs Experiment 2). Large markers represent condition means and error bars represent 95% within-participants confidence intervals for the means calculated with ESCI module for JAMOVI (Cumming, 2014; for a standard terminology for SE and CI, see Cousineau, 2017). Small grey markers indicate subject means in each condition.

The Bayesian statistical inference. We conducted a Bayesian analysis to reach a more informative conclusion about the moderating effect of the condition on the potentiation effect. We presented a Bayesian ANOVA conducted with JAMOVI (2021), using the default multivariate Cauchy prior recommended by Wagenmakers et al. (2017; for technical details, see Rouder et al., 2012).

As the Bayesian analyses performed in JAMOVI (2021) are based on sequential sampling methods, we decided to replace the default value of 10,000 samples by the arbitrary value of 10^{33} in order to reduce the error percentage (for a more complete explanation, see Guerineau et al. 2021, Pfister, 2021). The error percentage for the Bayes Factors computed for the full model comparison was 0.01 %. This very small error percentage indicates that our results should vary marginally from one analysis to another. As the main effect of each independent variable and their interaction were included in more than just one model comparison in the Bayesian ANOVA, we ran a Bayesian Model Averaging (BMA) across matched models to reach a clearer conclusion about the relative probability of each effect of interest (Wagenmakers et al., 2017; see Mathôt, 2017 for a discussion of the advantages of BMA across matched models over BMA across all models). Due to the results of our previous classical frequentist analysis, we focused our interpretation on the exclusion Bayes factors (BF_{incl}). We interpreted it as the strength of evidence supporting the averaged model including the existence of a given effect (i.e., the alternative hypothesis, $H1$) relative to the strength of evidence supporting the averaged model excluding the existence of this effect (i.e., the null hypothesis, $H0$). We used the classification proposed by Wagenmakers et al. (2017) to qualify this strength of evidence as null ($BF = < 1$), anecdotal ($BF = [1, 3]$), moderate ($BF = [3, 10]$), strong ($BF = [10, 30]$), very strong ($BF = [30, 100]$), and extreme ($BF > 100$).

Accordingly, we ran a Bayesian ANOVA with the participant as a random variable, the experiment (switch-instruction group vs tone-instruction group vs Experiment 2) as a fixed between-subject variable, and the size of the standardised potentiation effect as the dependent variable. The analysis revealed that our observed data were 7.3 times more likely under the

averaged model predicting the existence of an effect of the experiment on the size of the standardised potentiation effect (H1) than under the averaged model predicting its non-existence (H0). This result can be interpreted as a moderate relative evidence for the existence of an effect of the experiment on the size of the standardised potentiation effect, in line with the result of our frequentist analysis. The post-hoc comparisons first revealed a moderate relative evidence for the existence of a difference between the standardised potentiation effect of the switch-instruction group and the one of the tone-instruction group (uncorrected Bayes factors of 6.89; error percentage = $3.94e-4$). They also revealed a moderate relative evidence for the existence of a difference between the standardised potentiation effect of the switch-instruction group and Experiment 2 (uncorrected Bayes factors of 7.81; error percentage = $3.92e-4$). Finally, they revealed no relative evidence for the existence of a difference between the standardised potentiation effect of the tone-instruction group and Experiment 2 (uncorrected Bayes factors of 0.23; error percentage = $2.68e-2$).

General discussion

We pursue two complementary goals. First, we aim to determine whether the potentiation effect of grasping behaviours (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001) can be explained by the motor-simulation account (Barsalou, 2008; Ellis, 2007) or by the magnitude coding of responses (Guerineau et al., 2021; Heurley et al., 2020). Second, we aim to test whether the magnitude coding of responses could be influenced by the intention of the participants in line with the TEC (Hommel et al., 2001; Memelink & Hommel, 2013; Hommel, 2011, 1993). Accordingly, we conducted two experiments. In the first one, participants saw objects usually grasped with a power or precision grip (e.g., apple vs cherry) and had to mimic a power or a precision grip on a specific device. Responses on the large switch (e.g., power grip) always produced a high tone (i.e., a perceptual outcome associated to a small magnitude) while responses on the small switch (e.g., precision grip) always produced a low tone (i.e., a perceptual outcome associated to a large magnitude). Additionally, we manipulated the instructions: one group of participants were instructed to perform a power or precision grip (i.e., the switch-instruction group) while the other group was rather instructed to produce a specific tone (i.e., the tone-instruction group). We found that the potentiation effect was driven by the compatibility between the object and the grip in both instruction groups but results also revealed a decrease of the size of the potentiation effect when the instructions required to produce the tone (i.e., the tone-instruction group). In Experiment 2, the protocol and the instruction were

the same as in tone-instruction group, but the response device was laid horizontally on the table, therefore, we removed the grasping component of responses. This time, the results revealed a potentiation effect driven by the compatibility between the size of the objects and switches. Our frequentist and Bayesian between-experiments analyses revealed furthermore a decrease of the potentiation effect in both the tone-instruction group (Experiment 1) and in Experiment 2 compared to the switch-instruction group (Experiment 1). In the following sections, we further discussed these results and their theoretical relevance.

The motor-simulation account of the potentiation effect

One of our primary goals was to investigate whether the potentiation effect of grasping behaviors (Ellis & Tucker, 2000) could be due to a motor simulation process or because of the magnitude coding of stimuli and responses. At the first sight, data of Experiment 1 in which the effect reported is mainly driven by the compatibility between the performed grip and the grip associated to objects seems coherent with the motor simulation account. Indeed, it could be argued that when the responses performed are grasping actions, and not merely keypress (Guerineau et al., 2021; Heurley et al., 2020), the potentiation effect would depend on motor simulations occurring during the mere perception of objects. However, this possibility is not supported by the data of Experiment 2. In this experiment, as in Heurley et al. (2020), we have removed the grasping component of responses. Therefore, a motor simulation account cannot be applied to explain the reported results because the responses performed cannot longer match the ones associated to the objects (i.e., power vs precision grip). Interestingly, in this particular case, we found a potentiation-like effect between the objects (large vs small) and the switches (large vs small).

Accordingly, data of Experiment 1 can be reinterpreted. Indeed, in this experiment, the potentiation effect reported is undoubtedly due to a matching between the size of the object and the size of the switches rather than between the grip associated to object and the one actually performed. This rationale is particularly valuable considering two additional points. First, power-grip and precision-grip responses were performed on the same large and small switches than the one used in Experiment 2. Second, this explanation allows to understand why in Experiment 1, the potentiation effect decreased for the tone-instruction group compared to the switch-instruction group. More specifically, the potentiation effect could be due to the magnitude coding of responses that mainly depend on the size of the switches (as already

reported by Heurley et al., 2020) and it is disrupted only when the instructions focus the participants' attention on the incongruent auditory outcomes (i.e., the tone-instruction group).

Altogether, these results are in line with the coding account of the potentiation of grasping behaviours (Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021; HARRAK et al., 2022) and enjoin to be careful with the motor simulation account when the size of the switches are not properly controlled.

The post-responses outcomes and the coding of responses

A question in line with the previous section is to understand why, in our current work, the potentiation effect (and thus, the magnitude coding of responses) seems predominantly due to the size of the switches rather than to the magnitude of auditory outcomes as in Guerineau et al. (2021). One possible explanation of this inconsistency lies on a competition between magnitude codes: the ones associated to the switches and the ones associated to the auditory outcomes. Such competition is not present in the work of Guerineau et al. (2021) because the participants have to press two switches of the exact same size. Therefore, the switches cannot be coded as large and small because of their physical size. In this case, only the tone associated to each switch could be coded as large and small.

In our current work, because the switches differed according to their physical size, there is now a competition between the size of the switches and the pitch magnitude of the tones in order to code the participants responses. Interestingly, according to Experiment 1 and 2, when such competition occurs, the size of the switches seems to be spontaneously preferred to code the responses. It is noteworthy that this interpretation is in line with various results reported by researchers working on the Simon effect (for a review, see Proctor & Vu, 2006). For instance, when the participants were instructed to press the right switch with their left hand and the left switch with their right hand, the Simon effect reported depends on the location of the switch rather than on the hand used (left vs right, e.g., Roswarski & Proctor, 2000). However, when the participants were instructed to press two centered switches with their left and right hand, researchers were able to find a smaller, but reliable, Simon effect depending on the hand (Buhmann et al., 2007). Therefore, when the feature of the switches and of the hand compete, it seems that the lateral coding of responses predominantly depends on the feature of the switches in line with our own observation. Further research should investigate why exactly the

coding of responses preferentially and predominantly relies on the features of the switches rather than on the features of auditory outcomes. Various hypotheses are possible.

The role of the intention in the coding of responses

A latter contribution of our work concerns the relation between the magnitude coding of responses and the intention of the participants. In accordance with Hommel (1993) as well as Memelink and Hommel (2013), the intention of the participants could modulate the coding of responses especially when they can be coded thanks to various features in competition each other. In our work, we modulated the intention of the participants through the instructions. In Experiment 1, the instructions focused the participants' attention on the switches for the switch-instruction group, while the instructions focused the participants' attention on the auditory outcomes for the tone-instruction group. More precisely, they were either instructed to press the appropriated switch or to produce the appropriated tone, which thus increase the intentional weighting of the expected feed-back (i.e., visuo-tactile or auditive). Even whether the effect of both groups was mainly drove by the compatibility between the objects size and the size of the switches, the reported potentiation effect decreased slightly, but significantly, for the tone-instruction group compared to the switch-instruction group. This decrease is in line with the possibility that the instructions (and therefore the participants' intention) focused the participants attention on the tone and, in turn, modulated the coding of responses. Data of Experiment 2, where participants received a tone-oriented instructions as in the tone-instruction group of Experiment 1, exhibited a similar decrease of the potentiation-like effect⁵.

Two hypotheses (not mutually exclusive) can explain this decrease of the potentiation effects. One possibility, in line with various works on stimulus-response compatibility effect (Guiard, 1983; Wang et al., 2007), is that some participants of our sample exhibited a compatibility effect depending on the switch size (i.e., a positive compatibility effect) while other exhibited a compatibility effect depending on the auditory outcomes (i.e., a negative – reverse – compatibility effect). Then, when we average the RTs of our entire sample, the participants who exhibited an auditory-based compatibility effect (i.e., the ones with a negative effect), decreased the mean effect size of the global potentiation effect. This possibility is in accordance with the results of Guiard (1983) who firstly reported an experiment in which

⁵ Assuming that the size of the potentiation effect is calculated once all the difference in RTs between the experiments are properly controlled (see inter-experimental analysis performed on standardised data).

participants' responses could be coded along two competing features. Some participants showed a positive Simon effect while others showed a negative Simon effect, leading to a null Simon effect in average (see also Wang et al., 2007 for converging data). In our Figure 2, we plot the potentiation effect of each participant according to their group. For the tone-instruction group, several of them clearly exhibited a negative effect partially supporting this hypothesis.

Another hypothesis suggests instead that the average decrease of the potentiation effect occurred because all participants exhibited a smaller (switch-based) potentiation effect, and not because some participants would exhibit a negative (auditory-based) compatibility effect. In this case, it could be argued that each participant of the tone-instruction group of Experiment 1 as well as of Experiment 2 coded their responses mainly because of the size of the switches but also integrated the tone of the auditory outcomes. This integration would slightly "diminish their coding" in the sense that the response performed on the large switch would be coded as "large" but less "large" when the instructions focus the participants' attention on the high tone that is associated to the code "small". In other words, this hypothesis assumes a merge of codes associated to the switches and to the auditory outcomes. Furthermore, it could be assumed that the codes associated to the switches weight heavier in this merge than the code associated to the auditory outcomes explaining why the compatibility effect is mainly drove by the size of the switches. This possibility is in accordance with the results of Hommel (1996). In this study, left and right responses induced an auditory outcome located contralaterally. The right response induced a tone located on the left and conversely for the left response. Hommel (1996) found a Simon effect mainly drove by the location of the switch; however, the effect slightly decreases compared to a control condition in which responses did not produce any tone (see also Grosjean & Morkdoff, 2002). Hommel (1996) interpreted such a decrease as a behavioral marker of the integration of the auditory outcomes into the horizontal coding of responses. Nevertheless, unlike our own experiments, he did not instructed participants to produce the tones, but he merely ask them to press the appropriate switch.

In any case, further studies should be designed to better understand this influence of the instructions and to disentangle between both proposed hypotheses more directly.

Conclusion

Altogether, data gathered support that the potentiation effect of grasping behaviors could be due to a magnitude coding of responses largely dependent on the size of switches, but permeable

to an influence of intentional processes associated to the processing of action outcomes. Accordingly, this study puts forward the need to better understand how automatic and intentional processes, especially the ones links to the action goals, can work in concert.

References

- American Psychological Association. (2017). *ETHICAL PRINCIPLES OF PSYCHOLOGISTS AND CODE OF CONDUCT*. American Psychological Association.
<https://www.apa.org/ethics/code/ethics-code-2017.pdf>
- Azaad, S., Laham, S. M., & Shields, P. (2019). A meta-analysis of the object-based compatibility effect. *Cognition*, *190*, 105-127.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.04.028>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 617-645.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, *106*(1), 27-58.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.12.010>
- Buhlmann, I., Umiltà, C., & Wascher, E. (2007). Response coding and visuomotor transformation in the Simon task : The role of action goals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*(6), 1269-1282.
<https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1269>
- Cousineau, D. (2017). Varieties of Confidence Intervals. *Advances in Cognitive Psychology*, *13*(2), 140-155. <https://doi.org/10.5709/acp-0214-z>

- Cumming, G. (2014). The New Statistics : Why and How. *Psychological Science*, 25(1), 7-29.
<https://doi.org/10.1177/0956797613504966>
- Ellis, R. (2007). Grounding visual object representation in action. In B. Wallace, A. Ross, J. Davies, & T. Anderson (Éds.), *The mind, the body and the world : Psychology after cognitivism?* (2007-08849-012; p. 309-326). Imprint Academic.
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451-471.
<https://doi.org/10.1348/000712600161934>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3 : A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Grosjean, M., & Mordkoff, J. T. (2002). Post-response stimulation and the Simon effect : Further evidence of action-effect integration. *Visual Cognition*, 9(4-5), 528-539.
<https://doi.org/10.1080/13506280143000566>
- Guerineau, R., Heurley, L. P., Morgado, N., Brouillet, D., & Dru, V. (2021). Anticipating the magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable objects. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01535-0>
- Guiard, Y. (1983). the lateral coding of rotations : A study of the Simon effect with wheel-rotation responses. *Journal of Motor Behavior*, 15(4), 331-342.
- Harrak, M. H., Heurley, L. P., Morgado, N., Mennella, R., & Dru, V. (2022). The visual size of graspable objects is needed to induce the potentiation of grasping behaviors even with verbal stimuli. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x>

- Heurley, L. P., Brouillet, T., Coutté, A., & Morgado, N. (2020). Size coding of alternative responses is sufficient to induce a potentiation effect with manipulable objects. *Cognition*, 205, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104377>
- Hommel, B. (1993). *Inverting the Simon effect by intention*. 10.
- Hommel, B. (1996). The cognitive representation of action : Automatic integration of perceived action effects. *Psychological Research*, 59(3), 176-186. <https://doi.org/10.1007/BF00425832>
- Hommel, B. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, 136(2), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- Hommel, B. (2015). The theory of event coding (TEC) as embodied-cognition framework. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01318>
- Hommel, B. (2019). Theory of Event Coding (TEC) V2.0 : Representing and controlling perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(7), 2139-2154. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01779-4>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC) : A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849-878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Makris, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2011). Viewing objects and planning actions : On the potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain and Cognition*, 77(2), 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.08.002>
- Matheson, H., White, N., & McMullen, P. (2015). Accessing embodied object representations from vision : A review. *Psychological Bulletin*, 141(3), 511-524. <https://doi.org/10.1037/bul0000001>

- Mathôt, S. (s. d.). *Bayes like a Baws : Interpreting Bayesian Repeated Measures in JASP // Cogsci*. Consulté 9 mars 2022, à l'adresse <https://www.cogsci.nl/blog/interpreting-bayesian-repeated-measures-in-jasp>
- Memelink, J., & Hommel, B. (2013). Intentional weighting : A basic principle in cognitive control. *Psychological Research*, 77(3), 249-259. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0435-y>
- Parise, C. V., Spence, C., & Deroy, O. (2015). Understanding the correspondences : Introduction to the special issue on crossmodal correspondences. *Multisensory Research*, 29(1-3), 1-6. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002517>
- Perugini, M., Gallucci, M., & Costantini, G. (2014). Safeguard Power as a Protection Against Imprecise Power Estimates. *Perspectives on Psychological Science*, 9(3), 319-332. <https://doi.org/10.1177/1745691614528519>
- Pfister, R. (2019). Effect-based action control with body-related effects : Implications for empirical approaches to ideomotor action control. *Psychological Review*, 126(1), 153-161. <https://doi.org/10.1037/rev0000140>
- Pfister, R. (2021). Variability of Bayes Factor estimates in Bayesian Analysis of Variance. *The Quantitative Methods for Psychology*, 17(1), 40-45. <https://doi.org/10.20982/tqmp.17.1.p040>
- Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus-response compatibility effects? In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation.*, Vol. 60. (Vol. 60, pp. 227–266). Elsevier Academic Press.
- Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2006). *Stimulus-response compatibility principles : Data, theory, and application*. CRC/Taylor & Francis.

- Roswarski, T. E., & Proctor, R. W. (2000). Auditory stimulus-response compatibility : Is there a contribution of stimulus-hand correspondence? *Psychological Research Psychologische Forschung*, 63(2), 148-158. <https://doi.org/10.1007/PL00008173>
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(5), 356-374. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>
- StatSoft, Inc. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- The jamovi project (2021). *jamovi*. (Version 1.8) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Theeuwes, M., Liefoghe, B., & De Houwer, J. (2014). Eliminating the Simon effect by instruction. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(5), 1470-1480. <https://doi.org/10.1037/a0036913>
- 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), 830-846. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.830>
- 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>
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, 116(2), 185-203. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.01.004>

- Veale, J. F. (2014). Edinburgh Handedness Inventory—Short Form : A revised version based on confirmatory factor analysis. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 19(2), 164-177. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045>
- Wagenmakers, E.-J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., Love, J., Selker, R., Gronau, Q. F., Šmíra, M., Epskamp, S., Matzke, D., Rouder, J. N., & Morey, R. D. (2017). Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 35-57. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1343-3>
- Wang, D.-Y. D., Proctor, R. W., & Pick, D. F. (2007). Coding controlled and triggered cursor movements as action effects : Influences on the auditory Simon effect for wheel-rotation responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 657-669. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.3.657>
- Zwosta, K., Ruge, H., & Wolfensteller, U. (2013). No anticipation without intention : Response–effect compatibility in effect-based and stimulus-based actions. *Acta Psychologica*, 144(3), 628-634. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.09.014>

Discussion Générale

6.1 Remise en contexte de la thèse

La thèse défendue dans ce manuscrit avait pour ambition de venir confronter l'hypothèse du codage de la magnitude à celle de la simulation motrice dans le cadre de l'explication de l'effet de potentialisation. Plus précisément, alors que l'hypothèse de la simulation motrice – selon laquelle la perception d'un objet entraînerait la simulation d'un geste qui lui serait spécifiquement associé facilitant ainsi sa réalisation – est l'explication communément admise quant au processus sous-jacent à l'émergence de l'effet de potentialisation (Barsalou, 2008), nous défendons ici une explication basée sur l'hypothèse du codage de la magnitude (Heurley et al., 2020 ; HARRAK et al., 2022 ; Proctor & Miles, 2014 ; Matheson, 2015). Cette hypothèse avance notamment l'idée que l'effet de potentialisation découlerait d'une compatibilité entre le codage de la magnitude des objets perçus et le codage de la magnitude des réponses. Nos objectifs étaient donc d'une part de venir appuyer cette hypothèse explicative et d'autre part, de l'enrichir en précisant les processus sous-jacents au codage des réponses. Notre hypothèse de travail, découlant de la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019) était que le codage des réponses surviendrait grâce à la prise en compte et à l'anticipation des effets perceptifs induits par les réponses ainsi que de leur magnitude, et que l'effet de potentialisation découlerait d'une compatibilité entre le codage de la taille des stimuli et le codage de la magnitude des effets post-réponses.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons élaboré un protocole expérimental inspiré de celui de Heurley et al. (2020). Plus précisément, les participants avaient reçu pour consigne de répondre le plus rapidement possible à la coloration en bleu ou en orange d'objets manipulables associés à une saisie de force ou une saisie de précision préalablement présentés en niveaux de gris. Il est important de retenir que les réponses se faisaient en appuyant sur des touches avec la paume ou l'index de la main sur un dispositif placé horizontalement devant les participants. Ces touches étaient exactement de la même taille. Nous avons procédé de la sorte afin, d'une part, de supprimer la composante de saisie de réponse (i.e., saisie de force vs de précision), et d'autre part, de faire en sorte que la magnitude des effets tactiles (entres autres) induits par les réponses ne varie pas. Enfin, immédiatement et systématiquement après les réponses, un son aigu ou grave était produit, sachant qu'une même réponse (e.g., réponse avec l'index) entraînait toujours la production du même son (e.g., un son grave). Selon l'hypothèse de la simulation motrice, aucun effet de potentialisation ne devrait émerger dans un tel protocole puisque, même si la perception des objets induisait la simulation d'un geste de saisie spécifique (e.g., une saisie de force simulée à la vue d'une pomme), le dispositif de réponse n'en permettait pas la réalisation. Au contraire, l'hypothèse du codage de la magnitude prédit l'apparition d'un effet de potentialisation du fait de compatibilités s'appuyant d'une part sur le codage des objets selon leur dimension en fonction de leur taille visuelle (e.g., une pomme serait codé « grand »), et d'autre part sur le codage des effets post-réponses (e.g., le son grave serait codé « grand » d'après les travaux sur les interactions cross-modales, voir Parise et al., 2009, 2013, 2015, 2016).

Dans un premier article, dont l'objectif était d'étudier le rôle d'effets perceptifs artificiels dans l'émergence d'un effet de potentialisation en cas d'absence de gestes de saisie, nous avons repris et décliné ce protocole à travers trois expérimentations, chacune sous-divisée en deux blocs comprenant autant d'essais. Le premier bloc des trois expérimentations correspondait au protocole décrit précédemment, tout comme le second bloc de l'expérience 1. Pour l'expérience 2, nous avons supprimé les sons dans le second bloc, ainsi la production de réponses n'entraînaient plus d'effets sonores. Enfin, dans l'expérience 3 nous avons, d'un bloc à l'autre, inversé les associations entre les réponses et les sons (e.g., une réponse qui produisait le son grave dans le bloc 1, produisait le son aigu dans le bloc 2). Le résultat principal de cette étude provient de l'analyse inter-expérience où nous avons combiné les premiers blocs de chacune des expériences. Conformément à l'hypothèse du codage de la magnitude, un effet de potentialisation était présent lorsque les stimuli et les effets post-réponses partageaient un même code de magnitude. Autrement dit, les participants répondaient plus rapidement sur la touche qui produisait le son dont la magnitude correspondait à la taille de l'objet perçu. Par exemple, percevoir une pomme (i.e., dont le code correspond à «grand») facilitait la réponse produisant le son grave (i.e., codé comme «grand») au détriment de la réponse produisant le son aigu (i.e., codé comme «petit»). Ce résultat semble donc confirmer notre hypothèse selon laquelle les effets perceptifs produits par une action viendrait faciliter la réalisation de cette action lorsque leur code de magnitude correspond à celui de l'objet perçu. Cela pourrait suggérer que ce ne serait pas le type d'action en lui-même qui permettrait l'émergence d'un effet de potentialisation, mais plutôt les effets perceptifs produits par l'action.

Dans un second article, nous nous sommes intéressées à une situation dans laquelle une réponse induisait de multiples effets perceptifs. Plus précisément, nous nous sommes concentrés sur l'influence des effets perceptifs artificiels (i.e., son aigu vs grave) dans une situation où des effets perceptifs étaient déjà «naturellement» produits par des gestes de saisie de force et de saisie de précision (e.g., des effets tactiles et visuels). Pour cela, nous avons repris le protocole expérimental de l'expérience 1 du premier article que nous avons décliné à travers trois conditions. Afin de manipuler les effets perceptifs «naturels», nous avons changé le dispositif de réponse de manière à ce que les participants ne répondent plus par des pressions de la paume ou de l'index sur des touches de mêmes dimensions, mais par un geste de saisie de force appliqué sur une grande touche et par un geste de saisie de précision appliqué sur une petite touche. Concernant les effets sonores post-réponse, nous les avons retirés dans la condition de base. Dans la condition congruente, les réponses produisaient systématiquement le son dont la magnitude correspondait à la touche utilisée (e.g., les réponses en saisie de force produisaient systématiquement le son grave), tandis que dans la condition incongruente les réponses produisaient systématiquement le son dont la magnitude était contraire à la touche utilisée (e.g., les réponses en saisie de force produisaient systématiquement le son aigu). Ces associations entre taille des touches et la fréquence des sons avaient pour but de déterminer si la présence de multiples effets perceptifs post-réponses allait provoquer des

compétitions entre diverses compatibilités. Selon l'hypothèse de la simulation motrice, la présence des sons ne devrait pas impacter outre mesure l'émergence de l'effet de potentialisation puisque ce dernier ne dépendrait que de l'adéquation entre le geste de saisie simulé suite à la perception d'un objet et le geste de saisie à réaliser. Cependant, l'hypothèse du codage de la magnitude, en accord avec la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019), avance le fait que l'ensemble des effets perceptifs produits par les réponses seraient codés et influenceraient la réalisation de cette réponse. De fait, l'effet de potentialisation devrait être sensible à la présence conjuguée des effets sonores et des effets visuo-tactiles, cependant l'analyse réalisée suggère que ce n'est pas le cas. Plus précisément, les résultats ont révélé que pour chacune des conditions l'effet de potentialisation dépendait de la compatibilité entre le type d'objet et le type de saisie, sans que les sons ne viennent moduler l'effet. L'interprétation de ces résultats reste néanmoins sujette à caution car ces derniers pourraient s'expliquer tant par l'approche de la simulation motrice que par l'approche du codage de la magnitude. Afin de clarifier cela, nous avons prévu de répliquer la condition incongruente, mais en installant le dispositif de réponse à plat comme dans l'étude de Heurley et al. (2020). En effet, dans les trois conditions précédentes, la taille des touches et le type de saisie sont confondues, tant est si bien que l'on ne peut déduire clairement si la prédominance des saisies ne résulterait pas plutôt d'une forme de prédominance du codage des réponses du fait de la taille de touches. Aux vues des résultats obtenus par Heurley et al. (2020) et ceux de l'expérience 2 de notre troisième article, nous pouvons très fortement supposer que ces résultats montreront un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille des stimuli et la taille des touches de réponses. Un tel résultat viendrait alors appuyer une interprétation de l'effet de potentialisation de la première expérience selon l'approche du codage de la magnitude avec une prédominance des effets post-réponses visuo-tactiles (i.e., naturels) au détriment des effets post-réponses sonores (i.e., artificiels).

Enfin, dans notre troisième et dernier article, notre objectif était de mieux comprendre le rôle de l'intention dans la prise en compte des effets post-réponses dans une situation générant de multiples effets perceptifs et donc de multiples compatibilités de magnitude. Concrètement, nous avons repris le protocole de la condition incongruente de l'étude précédente. Pour un groupe de participants, nous avons modifié les consignes pour orienter leur intention vers la réalisation de gestes de saisie (i.e., saisie de force vs de précision) alors que pour l'autre groupe de participants, les consignes orientaient leur intention vers la production des sons. Bien que les résultats aient montré une diminution de l'effet de potentialisation pour le groupe devant produire les sons, cet effet restait tout de même dépendant de la compatibilité entre le type de saisie et le stimulus. Afin de déterminer si cette prédominance était plutôt due au type de saisie ou plutôt due à la taille des touches, à nouveau confondues dans ces deux premières conditions, nous avons réalisé une seconde expérience en installant le dispositif à plat tel que dans l'étude de Heurley et al. (2020). Ce nouveau groupe a reçu la consigne les invitant à produire des sons. L'analyse des résultats de cette seconde expérience a révélé un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille

des stimuli et la taille des touches. Dans un second temps, nous avons réalisé une analyse inter-expériences des effets de potentialisation standardisés. Cette analyse a montré une diminution de l'effet de potentialisation dans les deux conditions où la consigne était de produire les sons, comparé à la condition où la consigne était de réaliser un geste de saisie sur les touches, mais pas une inversion complète. Un tel résultat semble donc indiquer que l'intention des participants pourrait venir moduler la manière dont les effets post-réponses sont pris en compte dans le codage des réponses ce qui serait cohérent avec les travaux sur la pondération intentionnelle (Memelink & Hommel, 2013, 2005 ; Hommel, 1993, 1996, 2015, 2019 ; Pfister, 2019). Néanmoins, ces résultats, à l'instar de ceux de notre seconde étude (Guerineau et al., en révision-b) semblent également appuyer le fait qu'il existerait une forme de prédominance des effets visuo-tactiles au détriment des effets post-réponses sonores.

En considérant l'ensemble des résultats que nous avons obtenus, nous pouvons à présent avancer plusieurs éléments de réponse à propos de notre problématique et de nos hypothèses. Tout d'abord, la majorité des résultats que nous avons pu rassembler semblent aller dans le sens de l'approche par codage de la magnitude comme hypothèse explicative de l'effet de potentialisation, ce qui viendrait appuyer l'intuition de Proctor et Miles (2014 ; voir aussi Matheson, 2015) et corroborer les études de Heurley et al. (2020 ; HARRAK et al., 2022). Ensuite, la majorité de nos résultats semblent aussi confirmer le fait que les effets post-réponses seraient anticipés sur la base de leur magnitude, ce qui viendrait moduler la réalisation des réponses. Enfin, il semblerait que lorsque de multiples effets post-réponses de magnitudes différentes sont produits par la réponse, une forme de pondération intentionnelle se ferait afin de privilégier le codage des effets perceptifs les plus pertinents aux vues de l'objectif poursuivi. Cependant, il convient de rester prudent quant à la conclusion selon laquelle l'effet de potentialisation ne s'expliquerait que par un processus de codage de la magnitude. En effet, nous n'avons pas relevé d'éléments probants dans nos expérimentations montrant que le processus de simulation motrice n'interviendrait pas du tout dans l'émergence de l'effet de potentialisation. Ainsi, la possibilité que les deux processus puissent coexister, voire s'influencer demeure envisageable. Nous allons donc revenir sur ces différents points dans les sections suivantes afin d'en discuter plus avant des implications théoriques. Plus précisément, nous proposerons une réinterprétation de l'effet de potentialisation selon l'hypothèse du codage de la magnitude ; nous verrons comment cette dimension de magnitude peut venir enrichir la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019) ; enfin nous aborderons la question de la nature des processus de codage des réponses lorsque ces dernières produisent de multiples effets perceptifs.

6.2 Réinterprétation de l'effet de potentialisation selon l'hypothèse du codage de la magnitude et remise en question de l'hypothèse de la simulation motrice

D'après Proctor et Miles (2014), l'effet de potentialisation pourrait s'expliquer par un effet de compatibilité découlant d'une correspondance entre une dimension du stimulus et une dimension de la réponse. Afin de réinterpréter cet effet selon l'approche du codage de la magnitude, nous nous sommes concentrés sur la réponse, et plus précisément, nous nous sommes concentrés sur les effets perceptifs post-réponses.

Dans notre premier article (Guerineau et al., 2021), nous repris le protocole de l'expérience 4 de Heurley et al. (2020) dont la tâche consistait à catégoriser des objets manipulables (i.e., des fruits et légumes) selon leur couleur (i.e., bleu ou orange). Pour ce faire, les participants répondaient en appuyant sur des touches de clavier de mêmes tailles soit avec la paume de la main, soit avec l'index. La différence que nous avons apportée était qu'après chacune des réponses un son aigu ou grave était produit. A la différence de Heurley et al. (2020, expérience 4), nous avons pu mettre en évidence un effet de potentialisation du fait des compatibilités entre les codes de tailles des stimuli et ceux des réponses induits par la magnitude de leur effet sonore. Ce résultat vient compléter ceux obtenus par Pecher et al. (2019) puisqu'il nous permet de défendre l'idée que le contraste nécessaire à l'émergence d'un effet de potentialisation peut se trouver au niveau des effets post-réponses, et non uniquement au niveau de la réponse en elle-même. De plus, notre troisième article (Guerineau et al., en révision-b) vient quant à lui corroborer les résultats obtenus par Heurley et al. (2020) puisque nous avons pu mettre en évidence un effet de potentialisation basé sur la compatibilité entre la taille des stimuli et la taille des touches, et ce malgré l'absence de geste de saisie.

Pour compléter nos résultats, nous pouvons citer d'autres travaux qui se sont penchés plutôt sur la manipulation des stimuli afin de mettre en évidence un codage de la magnitude. Par exemple, dans l'étude en révision-a de Heurley et al., nous avons utilisé des taches d'encre, grosse ou petite, que les participants devaient catégoriser en fonction de leur couleur (i.e., bleu ou orange) en effectuant soit une saisie de force, soit une saisie de précision. Malgré le fait que les stimuli ne soient pas des objets manipulables, les résultats ont mis en évidence un effet de potentialisation basé sur la compatibilité entre la taille visuelle des stimuli et le type de saisie et/ou la taille des touches. Dans un registre un peu différent, dans une autre étude, nous avons utilisé les syllabes KA et TI (dont les codes de magnitude associés sont respectivement : « grand » et « petit ») que les participants devaient lire puis catégoriser selon leur coloration (i.e., bleu ou orange) en appuyant soit une touche de grande taille, soit une touche de petite taille (Heurley et al., en révision-c). Une fois encore, les résultats ont permis de révéler un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la magnitude des stimuli (non saisissables) et la taille des touches.

Sur la base de ces différents résultats, il nous est donc possible de proposer une réinterprétation de certains travaux sur l'effet de potentialisation à travers le prisme du codage de la magnitude. Par exemple, pour l'étude de Tucker et Ellis (2001), qui est celle majoritairement mise en avant pour défendre l'hypothèse de la simulation motrice, les participants devaient catégoriser les objets manipulables selon s'ils étaient naturels ou manufacturés en effectuant soit une saisie de force, soit une saisie de précision. Dans cette étude, les stimuli étaient présentés dans une taille visuelle cohérente avec leur taille réelle (i.e., un objet associé à une saisie de force était présenté plus grand qu'un objet associé à une saisie de précision), tandis que les réponses étaient réalisées sur des touches de tailles différentes puisque la touche servant à la saisie de force était plus grosse que celle pour la saisie de précision. Ainsi, l'effet de potentialisation mis en avant dans cette étude pourrait ne pas être le fruit de simulations motrices induite par la perception des stimuli, mais plutôt celui d'une compatibilité entre les codes de magnitude découlant des caractéristiques physiques des stimuli et des réponses.

Concernant l'étude de Ellis et Tucker (2000), il est intéressant de noter que bien que cette étude soit antérieure à celle de Tucker et Ellis (2001), elle n'en est pas moins délaissée du fait possiblement du fait des résultats de l'expérience 1 plus difficilement interprétable par le biais de l'approche simulationniste. En effet, dans cette expérience des objets manufacturés manipulables soit avec une saisie de force, soit avec une saisie de précision étaient présentés en même temps qu'un son aigu ou grave. Bien que devant prêter attention aux objets pour une tâche de rappel ultérieur, la consigne donnée aux participants était de catégoriser les sons selon leur tonalité (i.e., aigu ou grave) en effectuant soit une saisie de force, soit une saisie de précision. Les résultats ont montré un effet de potentialisation seulement dans la condition où le son aigu déclenchait une saisie de précision et le son grave une saisie de force, et non dans la condition inverse. Ellis et Tucker (2000) avaient alors proposé – sur la base des travaux de Marks (1974, 1975) – que ce résultat puisse découler d'une compatibilité stimulus-stimulus entre les objets et les sons du fait de la tendance à associer les petits objets au son aigu, et les gros objets avec le son grave. Nous pouvons donc pousser ce raisonnement un peu plus loin et postulant qu'en plus d'une compatibilité de magnitude entre les objets et les sons, une compatibilité de magnitude entre les objets et les touches et une compatibilité de magnitude entre les sons et les touches étaient aussi présentes. De fait, il est envisageable que l'absence d'effet de potentialisation dans la condition où le son aigu entraînait la production d'une saisie de force et le son grave la production d'une saisie de précision ait découlé d'une compétition entre les compatibilités de magnitude stimulus-réponse puisque ces dernières étaient opposées.

Comme nous l'avons énoncé précédemment, nos résultats semblent venir donc confirmer le fait que l'effet de potentialisation puisse s'expliquer par l'approche du codage de la magnitude. Toutefois, ces résultats, notamment ceux rassemblés dans notre deuxième et troisième article, ne nous permettent pas d'exclure la possibilité qu'un processus de simulation motrice puisse aussi avoir lieu. En effet, dans les

conditions où les réponses à réaliser consistaient à mimer des saisies de force ou de précision, nous avons pu observer que les effets de potentialisation mis en évidence dépendaient majoritairement de la compatibilité entre les stimuli et les réponses (i.e., saisies). Or, cette compatibilité pourrait tout autant dépendre du lien entre l'action à effectuer et celle simulée suite à la perception de l'objet, que du lien entre la taille de l'objet et la magnitude des effets post-réponses. Voire, pour ce que l'on en sait, il serait tout autant envisageable de considérer que ces deux types de compatibilités puissent avoir lieu conjointement lorsque les conditions sont réunies. En effet, dans nos travaux, appuyés par ceux de Heurley et al. (2020) ou encore Harrak (2022), nous avons montré que l'approche par codage de la magnitude était à même d'expliquer l'émergence d'un effet de potentialisation. Pour autant, des études menées notamment dans le champ des affordances²⁵ viennent plutôt soutenir une interprétation sous la forme d'une simulation motrice. Par exemple, Godard et al. (2019) ont montré que la présentation en amorce de gestes de saisies facilitait la reconnaissance d'objets manipulables selon s'ils étaient naturels ou manufacturés, contrairement à la présentation en amorce de gestes « neutres » (e.g., main avec paume orientée vers le haut ou vers le bas). Pour les chercheurs, le fait que les réponses effectuées par leurs participants ne soient pas des gestes de saisies mais plutôt des appuis sur des touches de clavier viendrait appuyer l'idée avancée par Barsalou (2008) selon laquelle des attributs moteurs évoqués par la perception des objets seraient intégrés aux représentations conceptuelles de ces objets. En effet, cette facilitation surviendrait grâce à la compatibilité entre le geste présenté en amorce et celui simulé suite à la perception de l'objet, et non du fait d'une caractéristique propre à la réponse. Godard et al. (2019) soulignent toutefois que seuls les objets manufacturés semblent sensibles à la facilitation induite par l'amorçage. Ces résultats sont rapprochés de ceux obtenus par Borghi et Riggio (2015) ou encore Buxbaum et Kalénine (2010) selon lesquels il existerait plusieurs sortes d'affordances plus ou moins sensible au contexte de présentation de l'objet (Borghi & Riggio, 2015; Kalénine et al., 2014), ou évoquant des actions relatives soit à l'usage de l'objet (i.e., affordances dites « fonctionnelles »), soit à sa manipulation (i.e., affordances dites « structurelles », Borghi & Riggio, 2015; Jax & Buxbaum, 2010, 2013). De fait, Godard et al. (2019) en déduisent que les objets manufacturés évoqueraient un panel d'affordance plus riche que les objets naturels. Autrement dit, que la perception d'un objet manufacturé entraînerait la simulation d'un plus grand nombre de composantes motrices via l'activation du concept de l'objet.

Pour appuyer cette idée, Kalénine et al. (2016; voir aussi Wamain et al., 2016) ont utilisé des tâches de jugement sémantique (i.e., « est-ce que l'objet se trouve habituellement dans la cuisine? ») et d'atteignabilité (i.e., « est-ce que l'objet peut être atteint et saisi avec la main droite sans avoir à faire le

²⁵ Brièvement, pour reprendre la définition gibsonienne d'origine, les affordances peuvent être définies comme étant un type d'informations spécifiques renseignant l'animal sur les possibilités d'interactions offertes par l'environnement qui l'entoure (Gibson, 1950, 1969, 1977, 1979). Pour des revues plus complètes sur le concept d'affordance et son évolution, voir Hensel et al., (2012), Luyat et Regia-Corte (2009), Lobo et al. (2018), ou encore Chong et Proctor (2020).

réellement le geste ?») où les réponses se faisaient avec les pieds. Les stimuli utilisés étaient des objets manufacturés dont les gestes d'usage et de manipulation étaient soit identiques (e.g., une bouteille d'eau), soit différents (e.g., une calculatrice). Enfin, ces objets étaient présentés soit dans l'espace péri-personnel soit dans l'espace extra-personnel. Leurs résultats ont mis en évidence un ralentissement des réponses pour la tâche d'atteignabilité et non celle de jugement sémantique uniquement pour les objets dont les gestes d'usage et de manipulation étaient différents, et seulement lorsqu'ils se trouvaient dans l'espace péri-personnel. Ces résultats ont été interprétés comme découlant d'un conflit au niveau des représentations entre les différents gestes possibles, et la conclusion qui en a été tirée est que le contexte visuel dans lequel l'objet apparaît pourrait être une source de modulation dans l'évocation des affordances, autrement dit, dans l'activation des simulations motrices (voir aussi Ferri et al., 2011, Kalénine et al., 2014 pour des résultats convergents).

Toutefois, la question pourrait se poser de savoir si l'évocation d'affordances et la simulation motrice sont bien le même phénomène. En effet, la simulation motrice telle qu'envisagée dans le cadre de l'effet de potentialisation renverrait à une facilitation automatique pour un type d'action spécifique dépendant des caractéristiques visuelles de l'objet, tandis que l'évocation d'affordances semble renvoyer à un mécanisme de sélection d'une action parmi plusieurs possibles, et ce en fonction du contexte et de l'intention de l'individu (i.e., manipulation ou usage d'un objet). Considérant cette notion de sélection d'une action que l'on pourrait retrouver dans le processus de pondération intentionnelle de la TEC (Memelink & Hommel, 2013), nous pouvons alors nous demander si le processus de la simulation motrice et celui du codage de la magnitude ne seraient pas deux processus complémentaires : le premier permettant de détecter des interactions possibles avec des objets de l'environnement, et le second permettant de sélectionner l'action la plus adéquate à réaliser en fonction de l'objectif poursuivi. Ainsi, les questions qui peuvent se poser seraient de déterminer quelles conditions favoriseraient l'un ou l'autre processus, et comment ces deux derniers interagiraient ensemble.

6.3 Enrichissement de la TEC

Dans cette partie, nous allons aborder la contribution que nous proposons via cette thèse à la TEC (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2009, 2015, 2019). En effet, les résultats que nous avons pu obtenir à travers nos travaux nous permettent de défendre l'idée que les participants puissent utiliser la magnitude des effets perceptifs post-réponse pour coder leurs réponses ainsi que les stimuli. Cette dimension viendrait alors s'ajouter à la dimension spatiale (e.g., axe droite-gauche : Hommel et al., 2001) déjà amplement mise en avant dans le cadre de la TEC (voir Hommel, 2019). Considérer la magnitude comme étant une dimension du système de codage commun dont la fonction est de mettre en relation des perceptions avec des actions permettrait de mieux comprendre certains travaux. Par exemple, dans

l'expérience 2 de l'étude de Kunde (2001), les participants étaient capables d'associer spontanément les réponses demandant de fortes pressions à de forts effets sonores et les réponses demandant de faibles pressions à de faibles effets sonores (pour des résultats similaires, voir aussi : Camus et al., 2018 ; Heurley et al., 2020 ; Thébault, et al., 2018, 2020). Un tel résultat pourrait s'expliquer par le fait que les réponses et les effets sonores partageaient un codage similaire de leur magnitude, ce qui a permis l'apparition de ces effets de compatibilité.

Dans nos travaux, nous nous sommes concentrés sur la manipulation des réponses et des effets perceptifs qu'elles produisaient en utilisant notamment comme effets post-réponses des sons aigu et grave. A noter que nous avons indiqué dans les considérations théoriques de cette thèse deux approches possibles de la magnitude associée à chacune de ces hauteurs de son, à savoir l'approche cross-modale selon laquelle un son aigu serait « petit » et un son grave « grand » (Parise, 2015 ; Gallace & Spence, 2006 ; Parise et al., 2015, 2016) et l'approche proposée par Rusconi et al. (2006) s'appuyant sur l'effet SMARC défendant l'inverse. Dans nos travaux ayant montré une influence du son sur l'effet de potentialisation, il ressort que la perception d'objets « petit » ait facilité la production de réponse produisant le son aigu (i.e., « petit »), et que la perception d'objets « grands » ait facilité la production de réponse produisant le son grave (i.e., « grand »). Selon nous, nos résultats viennent donc conforter l'approche cross-modale quant au codage de la magnitude des sons. Dans nos travaux, nous avons aussi manipulé les dimensions visuelles et tactiles des touches de réponse et il semblerait que nos résultats viennent confirmer ceux obtenus par Heurley et al. (2020), à savoir que les réponses seraient codées selon la magnitude de leurs effets visuo-tactiles.

Concernant le codage de la magnitude des stimuli – l'autre paramètre nécessaire à l'apparition d'une compatibilité stimulus-réponse – nos travaux ne se sont pas directement intéressés à cette question. En effet, nous n'avons utilisé que des fruits et légumes présentés dans des tailles visuelles proches de leur taille réelle, cependant, d'autres travaux ont manipulé la nature des stimuli afin de défendre l'approche de codage de la magnitude. Par exemple, Heurley et al. (en révision) ont mis en évidence un effet de potentialisation dépendant de la compatibilité de magnitude entre les stimuli et les réponses alors que les stimuli étaient des taches d'encre grandes ou petites, donc des objets non saisissables (pour des résultats convergents, voir aussi Harrak et al., 2022 ; Coutté et al., 2017 ; Heurley et al., en révision-a). De tels résultats viennent, selon nous, appuyer nos conclusions sur le fait que la magnitude soit une dimension du système de codage commun.

Il est un autre élément de la TEC que nos travaux viennent étayer. En effet, une particularité de notre protocole expérimental réside dans le fait que nous n'avons pas utilisé de phase d'apprentissage explicite pour associer une réponse à un effet perceptif particulier. Ainsi, l'apprentissage du lien entre une réponse et ses effets semble se faire de manière implicite et spontané, ce qui serait conforme aux propositions de la TEC selon lesquelles un lien réponse-effet se ferait grâce à des expositions répétées dans

le temps et l'espace de ces deux éléments (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019). De plus, le fait que nous obtenions des effets de compatibilité stimulus-réponse alors que les effets des réponses ne surviennent qu'après la production des réponses – autrement dit, les effets n'ont pas été utilisés comme amorce – vient étayer l'affirmation des théories idéomotrices selon laquelle ce serait l'anticipation des effets d'une action qui permettrait sa réalisation (e.g., James, 1890 ; Stock & Stock, 2004 ; Pfister et al., 2014 ; Pfister, 2019). Cependant, nos résultats viennent aussi interroger la dynamique de ces apprentissages stimulus-réponse. En effet, dans l'expérience 2 de notre premier article (Guerineau et al., 2021), malgré la disparition des effets sonores dans le deuxième bloc, un effet de potentialisation a quand même pu être mis en évidence, tandis que dans l'expérience 3 du même article, l'inversion des associations réponse-effet entre les deux blocs d'essais n'a pas inversé l'effet de potentialisation comme on aurait pu l'attendre. Ces résultats viennent donc interroger sur les conditions nécessaires à la disparition, modification, ou remplacement d'un codage réponse-effet.

Un élément de réponse pourrait tenir dans le nombre d'essais réalisés puisqu'au sein d'un bloc de 96 essais, seuls 48 étaient des essais compatibles (pour des réflexions sur le nombre d'essais, voir Pfister & Kunde, 2013 ; Pfister 2019 ; Yamaguchi & Proctor 2011). De fait, le protocole expérimental de notre première étude semble donc montrer qu'un apprentissage réponse-effet serait possible en un temps relativement bref, mais un plus grand nombre d'essais serait potentiellement nécessaire pour faire disparaître, ou à minima moduler, un apprentissage existant. Un autre élément de réponse – possiblement complémentaire avec le précédent – pourrait venir du type de tâche effectuée. En effet, il est actuellement considéré que les apprentissages réponse-effet seraient plus importants dans des tâches de choix libre et non de choix forcé (Herwig et al., 2007 ; Herwig & Horstmann, 2011 ; Herwig & Waszak, 2009, 2012 ; Pfister, 2019). Autrement dit, un lien entre une réponse et les effets qu'elle produit serait mieux appris lorsque les participants choisissent librement la réponse à effectuer plutôt que lorsque les réponses sont contraintes par un élément du protocole (e.g., effectuer une réponse spécifique selon la coloration du stimulus). Du fait que nous ayons réussi à mettre en évidence des apprentissages réponses-effet dans nos travaux, nous pouvons supposer que l'apprentissage réponse-effet ne serait pas spécifique aux tâches de choix libre. Cependant, notre protocole de choix forcé ne permettrait qu'un apprentissage limité, ce qui pourrait expliquer pourquoi les effets de potentialisation n'ont pas disparus ou inversé dans nos expériences 1 et 2.

6.4 Vers un codage intentionnel dans un contexte de multi-effets perceptifs

Pour cette dernière partie de notre discussion, nous allons nous intéresser un peu plus en détails à l'un des résultats qui ressort de nos deux derniers travaux (Guerineau et al., en révision-a, en révision-b), à savoir le fait que le codage des touches semble avoir une influence prédominante dans l'émergence des effets de potentialisation par rapport au codage des sons. En effet, dans ces deux études, que les réponses

soient réalisées via des gestes de saisies (l'expérience 1 de Guerineau et al., en révision-a et l'expérience 1 de Guerineau et al., en révision-b) ou via des gestes de pressions avec la paume et l'index (l'expérience 2 de Guerineau et al., en révision-b et l'expérience 2 à venir de Guerineau et al., en révision-a), les effets de potentialisation mis en évidence dépendent de la compatibilité entre la taille visuelle des objets et la taille des touches, et ce malgré les sons produits par les réponses. Une telle prédominance du codage des touches est intrigante au regard des résultats de notre première étude (Guerineau et al., 2021) puisque dans cette dernière seule la compatibilité entre la taille visuelle des objets et la magnitude des sons avait permis l'émergence d'un effet de potentialisation.

Une première piste pour expliquer ce phénomène pourrait venir du contexte global de l'expérimentation. Ce terme pourrait recouvrir plusieurs aspects du protocole, comme par exemple la manière dont le dispositif de réponse est présenté qui pourrait induire une forme de saillance attentionnelle ou encore le type d'objet et la manière dont ils sont présentés à l'écran qui pourraient favoriser certaines affordances (Borghi & Riggio, 2015; Kalénine et al., 2014; Jax & Buxbaum, 2010, 2013). Nous détaillons chacun de ces points ci-dessous.

Pour ce qui est de la saillance attentionnelle, il est possible de faire l'hypothèse que le dispositif de réponse soit visible dès le début de la phase de test puisse entraîner une forme de capture de l'attention en faveur des informations visuelles. Cette capture de l'attention pourrait s'expliquer par le fait que les informations visuelles véhiculées par le dispositif de réponse étaient à disposition de façon permanente (voir Posner, 1976; Spence et al., 2001 pour des arguments en faveur de la dominance des informations visuelles). Cependant, dans une de nos études qui n'a pas été intégré à la thèse (Guerineau et al., en préparation), nous avons voulu moduler le poids attentionnel attribué aux informations visuo-tactiles et aux informations auditives. Ainsi, dans une première expérience basée sur le protocole de la condition incongruente de l'étude de Guerineau et al. (en révision-a), nous avons augmenté la saillance attentionnelle des informations auditives en multipliant le son produit par rapport à nos précédents travaux (Guerineau et al., 2021, en révision-a, en révision-b). Concrètement, les participants devaient, en fonction de la couleur, réaliser une saisie de force ou une saisie de précision et chacune des réponses produisait trois fois d'affilée le même son au lieu d'une seule comme c'est le cas dans les travaux décrits dans cette thèse. Plus précisément, les réponses avec la saisie de force produisaient trois fois d'affilée le son aigu alors que les réponses avec la saisie de précision produisaient trois fois d'affilée le son grave. Dans une seconde expérience, en plus de vouloir rehausser la saillance attentionnelle des informations auditives, nous avons souhaité diminuer la saillance des informations visuo-tactiles (plus spécifiquement, nous avons cherché à diminuer l'attention accordée aux touches de réponse). Pour cela, nous avons conservé le fait que les réponses produisent trois fois les sons, et nous avons également caché le dispositif ainsi que la main de réponse tout au long de l'expérience. De fait, le participant tenait le dispositif dans sa main et répondait sans rien voir du dispositif ou de ses gestes de réponse. Dans ces deux cas de figure, les

résultats obtenus ont mis en évidence des effets de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille visuelle des stimuli et le type de saisie. Ainsi, les travaux de cette thèse et ce résultat semblent supporter la possibilité que cette prédominance en faveur des touches de réponse ne découlerait pas uniquement d'un biais attentionnel visuel en leur faveur.

Pour ce qui est du potentiel rôle joué par les stimuli dans la prédominance des touches dans les effets de potentialisation obtenus dans les études de Guerineau et al. (en révision-a, en révision-b), il serait possible d'évoquer tout d'abord le type de stimuli utilisé. Plus précisément, dans nos expériences nous avons utilisé des images représentant des objets naturels, or, comme nous l'avons énoncé précédemment, divers travaux ont mis en évidence le fait que les objets naturels, par contraste avec les objets manufacturés, n'évoqueraient pas les mêmes types de patterns moteurs (Godard et al., 2019 ; Borghi & Riggio, 2015 ; Jax & Buxbaum, 2010, 2013 ; Kalénine et al., 2016 ; Wamain et al., 2016). Plus précisément, les objets naturels évoqueraient préférentiellement des patterns moteurs liées à leur taille visuelle (i.e., affordances structurelles, Buxbaum & Kalénine, 2010), ce qui pourrait rendre plausible une forme de facilitation pour coder les informations relatives à la taille des informations visuo-tactiles. De plus, nous pouvons nous interroger sur la force des associations créées durant l'expérimentation entre les stimuli et les différents effets perceptifs. En effet, dans la vie quotidienne les interactions avec des fruits et des légumes produisent majoritairement des effets perceptifs d'ordre visuo-tactiles, et non auditifs. Ainsi, il ne serait pas impossible que ces interactions antérieures aient renforcé la part des effets visuo-tactiles dans le codage des réponses du fait de leur plus grande pertinence en raison des interactions habituelles avec ces stimuli. Cependant, ces explications ne nous semblent pas complètement convaincantes car nous retrouvons cette prédominance des effets liés aux touches y compris dans les situations où le dispositif est installé à plat, et qu'à priori rien dans le protocole ni dans les consignes ne renverrait à des interactions de saisies.

Une seconde piste possible pour expliquer la prédominance de la taille des touches dans l'apparition des effets de potentialisation dans nos travaux pourrait venir d'une forme de modulation intentionnelle du rôle de chacun des éléments constitutifs des réponses. En effet, des travaux tant en faveur d'une hypothèse par codage (Memelink & Hommel, 2013, 2005 ; Hommel, 1993, 1996, 2015, 2019, 2021), que d'une hypothèse par simulation motrice et affordances (Kalénine et al., 2014 ; Osiurak & Badets, 2016 ; Badets & Osiurak, 2015) mettent en avant le rôle de l'intention dans la réalisation d'une action. Plus précisément, ces différents travaux suggèrent que l'intention d'interagir avec un objet viendrait moduler la manière dont les informations à disposition seront traitées. Par exemple, dans le cas de la pondération intentionnelle développée dans le cadre de la TEC (Memelink & Hommel, 2013, 2005 ; Hommel, 1993, 1996, 2015, 2019, 2021), un poids plus important dans le codage est attribué aux informations relatives aux effets perceptifs anticipés et/ou désirés.

Une question qui se pose alors est de savoir quelle était l'intention réelle des participants de nos études ? En effet, est-ce que leur intention au cours d'une expérience était dépendante de la consigne que nous pouvions leur donner (i.e., appuyer sur une touche ou produire un son en fonction du changement de couleur des stimuli), ou est-ce que le fait même de participer à une étude expérimentale n'induisait pas d'autres intentions comme être un « bon » participant (e.g., répondre le plus rapidement possible, faire le moins d'erreur possible) ? De fait, nous pouvons nous demander quels étaient les effets perceptifs réellement anticipés et/ou désirés au cours de nos travaux. Dans nos trois études, la réalisation d'une réponse entraînait systématiquement la production d'effets visuo-tactiles et d'effets sonores. Dans l'étude de Guerineau et al. (2021), les effets visuo-tactiles étaient peu voire pas contrastés, tandis que dans les études de Guerineau et al. (en révision-a, en révision-b), les effets visuo-tactiles des réponses étaient contrastés du fait de la taille des touches. Ainsi, il serait possible d'envisager qu'au regard de la tâche à réaliser dans l'étude de Guerineau et al. (2021), qui basiquement consistait à appuyer sur une touche pour passer à l'essai suivant, le manque de contraste des effets visuo-tactiles ait permis aux codes des effets sonores de venir influencer l'émergence des effets de potentialisation. Dans les deux autres études de Guerineau et al. (en révision-a, en révision-b) cependant, le contraste induit par la taille des touches a pu permettre aux codes relatifs aux effets visuo-tactiles de gagner en pertinence, et donc de prendre le pas sur les codes des effets sonores. Dans l'étude de Guerineau et al. (en révision-b), le changement de consigne (i.e., devoir produire un son suite à la coloration des stimuli plutôt que devoir appuyer sur une touche) n'a au final pas changé la tâche « basique » puisque c'était la pression sur une touche qui permettait de passer à l'effet suivant. De fait, il est possible que la production des sons n'ait alors été considéré que comme un épiphénomène dont le codage a été « noyé » par celui des touches (voir Gozli et al., 2016 ; Wirth et al., 2016 pour des résultats convergents).

Toutefois, le fait que l'effet de potentialisation ait quand même diminué lorsque la consigne portait sur le son pourrait suggérer deux choses non mutuellement exclusives. Premièrement, le fait que la consigne ait porté sur les sons a pu réhausser la pertinence de ces effets pour l'ensemble des participants. Cela aurait donc augmenté le poids de la magnitude des sons dans le codage des réponses et diminué celui du codage de la taille des touches, rendant ainsi le codage des réponses moins « pur » par rapport aux conditions où la consigne portait sur l'action à réaliser (voir Hommel, 1996 ; Grosjean & Mordkoff, 2002 pour des résultats similaires). Deuxièmement, il est possible que la diminution de l'effet de potentialisation moyen soit le résultat de différences inter-individuelles au niveau de l'effet de compatibilité dominant. Plus précisément, un sous-groupe de participants au sein de notre échantillon a pu être plus sensible à la compatibilité entre la taille visuelle des stimuli et la magnitude des sons, tandis qu'un autre, majoritaire, a pu être plus sensible à la compatibilité entre la taille visuelle des stimuli et la taille des touches. Ainsi, la consigne aurait alors augmenté la proportion du groupe sensible à la compatibilité entre la taille visuelle des stimuli et la magnitude des sons, ce qui aurait diminué l'effet de potentialisation moyen. Cette

hypothèse est cohérente avec l'étude de Guiard (1983) montrant une absence d'effet Simon dans l'une des expériences. Cette absence venait du fait que les résultats d'une partie des participants montraient un effet Simon positif induit par la compatibilité entre les stimuli et une caractéristique de la réponse, tandis que les résultats de l'autre partie montraient un effet Simon négatif induit par la compatibilité entre les stimuli et une caractéristique opposée de la réponse (voir Wang et al., 2007 pour des résultats convergents, et Spence, 2022 pour une revue de la littérature). Il se peut donc que dans nos travaux, comme dans ceux de Guiard (1983) et Wang et al. (2007), que le codage des réponses dépende bel et bien de l'intention des participants mais que cette dernière ait été peu ou mal contrôlée expérimentalement.

Cette prédominance de la touche vient aussi interroger la manière dont les différents effets perceptifs – qu'ils soient plutôt liés à l'environnement (i.e., les effets sonores, les effets visuels), ou plutôt liés au corps (i.e., les effets tactiles, les effets proprioceptifs, les effets haptiques) – participeraient au codage des réponses. En effet, dans la littérature sur la TEC, il est principalement mis en avant le fait qu'une action serait produite du fait de l'anticipation de ses effets liés à l'environnement (Hommel et al., 2001 ; Hommel, 2015, 2019 ; Elsner & Hommel, 2001, 2004), et que les effets liés au corps auraient seulement une influence marginale (Osiurak & Badets, 2014 ; Pfister & Kunde, 2013). Cependant, d'autres travaux mettent en avant le fait que l'anticipation des effets liés au corps participerait autant à la réalisation de l'action que les effets à l'environnement (Wirth et al., 2016 ; Pfister et al., 2014 ; Thébault et al., 2018). Concernant nos travaux, du fait de la prépondérance de la touche par rapport au son dans l'émergence des effets de potentialisation, il semblerait que les résultats de Guerineau et al. (en révision-a, en révision-b) viennent plutôt pencher en faveur d'un rôle important des effets liés au corps dans le codage de la réponse. Cependant, l'étude de Heurley et al., (en révision-b) pourrait nuancer cette interprétation. En effet, dans cette étude nous avons repris le protocole de Guerineau et al. (2021) où les participants devaient catégoriser des objets naturels manipulables de tailles différentes en appuyant sur des touches de mêmes tailles. Les modifications du protocole tenaient dans le fait que l'une des touches demandait plus de force que l'autre pour être pressée et que les réponses ne produisaient plus de sons. Notre hypothèse était que les effets haptiques (i.e., effets perceptifs liés au corps, à la fois tactile, kinesthésiques et proprioceptifs, voir Michalland, 2019) allaient être codés comme « grand » pour les effets induits par la touche demandant une force importante, et comme « petit » pour ceux induits par la touche demandant moins de force. Ce codage devant ensuite permettre l'émergence d'un effet de potentialisation basé sur la compatibilité entre les codes de la taille des objets et les codes de magnitudes des réponses. Toutefois aucun effet de potentialisation n'a été mis en évidence suite à l'analyse des résultats. Ainsi, la question quant au rôle de la nature des effets perceptifs (i.e., liés au corps ou à l'environnement) reste en suspens, car même si les résultats de Guerineau et al. (en révision-a, en révision-b) semblent pencher en faveur d'un rôle important des effets liés au corps dans le codage de la réponse, ce résultat est peu étayé par la littérature.

Un dernier point enfin concernant l'aspect intentionnel dans la prise en compte des effets post-réponses dans le codage des réponses. Dans nos travaux nous avons utilisé des effets que l'on pourrait considérer comme étant relativement neutre en termes de valence, et nous avons pu mettre en évidence des effets de compatibilités entre les stimuli et les réponses de par le codage des effets post-réponses. Cependant, aurions-nous pu mettre en évidence des effets de potentialisation dépendant de la compatibilité entre la taille visuelle des objets et la magnitude des effets post-réponses si ces derniers avaient été des sons agréables ou désagréables ? Dans l'étude de Brouillet et al. (2019), nous avons montré que la simulation d'une conséquence corporelle négative était à même de ralentir les temps de réponse lors d'une tâche de go/no-go. Plus précisément des objets saisissables avec une saisie de force et d'autre non-saisissables étaient présentés et la tâche des participants était de réaliser une réponse lorsque l'objet était saisissable soit en appuyant sur une touche avec l'index (expérience 1), soit en effectuant une saisie de force sur un dispositif dédié (expérience 2). Les résultats ont donc montré un ralentissement des réponses lorsque l'amorce correspondait à une main blessée par rapport à la condition où l'amorce était associée à une main non blessée. Ce ralentissement était d'autant plus important lorsque la réponse consistait à réaliser une saisie de force plutôt que d'appuyer sur une touche (pour des résultats convergents voir Anelli et al., 2012, 2013). L'interprétation proposée de ce résultat était que la perception de l'amorce entraînerait une simulation de la douleur associée à l'état de la main, ce qui viendrait altérer l'activation du pattern moteur correspondant à celui de l'objet perçu. Bien que cette interprétation s'inscrive donc plutôt dans une approche de simulation motrice (Barsalou, 2008 ; Kalénine et al. 2016 ; Wamain et al., 2016 ; Osiurak & Badets, 2014, 2016) et non dans une approche par codage, cela nous laisse penser que le codage des réponses ne serait pas seulement modulé par les effets perceptifs post-réponses, mais aussi potentiellement par les conséquences plus « émotionnelles ». Il pourrait donc être intéressant d'orienter de futures recherches sur les interactions possibles entre les effets et les conséquences d'une action sur le codage d'une réponse, et voir comment l'intention viendrait articuler ces deux facettes des résultats d'une réponse.

Conclusion

Dans cette thèse, nous nous sommes appliqués à défendre un modèle prédictif et flexible de la cognition dû au fait que les interactions avec l'environnement seraient basées sur l'anticipation des effets des actions, et que ces anticipations seraient orientées par les intentions des agents. Plus précisément, nous avons voulu défendre une explication par codage de la magnitude de l'effet de potentialisation en démontrant que cet effet pouvait découler de la compatibilité entre le codage de la taille des stimuli et le codage de la magnitude des réponses induit par l'anticipation des effets des réponses.

Nous avons pu montrer dans une première étude qu'il était possible d'obtenir des effets de potentialisation malgré l'absence de geste de saisie dans les réponses, et ce grâce à la présence d'effets post-réponses (Guerineau et al., 2021). Ce résultat nous a permis d'appuyer le fait que les effets post-réponses étaient automatiquement anticipés et que leur magnitude était à même de moduler le codage des réponses, et donc de moduler leur compatibilité avec les stimuli. Ainsi, cette étude viendrait nous conforter dans l'idée que ce ne serait pas les actions en elle-même qui importeraient, mais plutôt les effets qu'elles produisent. Les résultats obtenus dans une seconde et une troisième étude sont plus ambigus car ils mettent en avant une prédominance des touches de réponse dans l'émergence des effets de potentialisation (Guerineau et al., en révision-a, en révision-b). Bien que pour certaines expériences de ces études, l'interprétation de leurs résultats puisse se faire seulement par une approche par codage, pour d'autres l'interprétation pourrait se faire tant par l'approche par codage de la magnitude, que nous défendons, que par l'approche par simulation motrice ; voir *via* ces deux approches réunies. De fait, même s'il est possible de considérer que ces études viennent soutenir l'explication de l'effet de potentialisation par un codage de la magnitude (voir aussi Heurley et al., 2020, en révision-a, en révision-b, en révision-c ; Harrak et al., 2022 ; Pecher et al., 2019 ; Coutté et al., 2017), nous ne pouvons les employer pour réfuter l'explication découlant de l'approche simulationniste (Barsalou et al., 2008 ; Kalénine et al., 2016 ; Wamain et al., 2016 ; Godard et al., 2019).

Nos travaux viennent aussi soulever de nombreuses questions à propos du rôle de l'intention lorsque les réponses produisent de multiples effets perceptifs contrastés en termes de magnitude. Ainsi, même si nos résultats nous permettent de supposer fortement que l'intention des participants permettrait de donner plus de poids au codage de l'effet post-réponse pour le but à atteindre (pour des résultats convergents, voir Memelink & Hommel, 2013, 2005 ; Hommel, 1993, 1996, 2015, 2019 ; Pfister, 2019 ; Pfister et al., 2011), d'autres questions restent pour le moment en suspens. De fait, d'autres études seraient nécessaires pour venir étayer les résultats obtenus et pallier aux limites et questionnement soulevés en discussion.

Bibliographie

- Andres, M., Davare, M., Pesenti, M., Olivier, E., & Seron, X. (2004). Number magnitude and grip aperture interaction. *NeuroReport*, 15(18), 2773-2777.
- Andres, M., Ostry, D. J., Nicol, F., & Paus, T. (2008). Time course of number magnitude interference during grasping. *Cortex*, 44(4), 414-419. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.007>
- Anelli, F., Borghi, A. M., & Nicoletti, R. (2012). Grasping the pain : Motor resonance with dangerous affordances. *Consciousness and Cognition*, 21(4), 1627-1639. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2012.09.001>
- Anelli, F., Nicoletti, R., Bolzani, R., & Borghi, A. M. (2013). Keep Away from Danger : Dangerous Objects in Dynamic and Static Situations. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00344>
- Ansorge, U., & Wühr, P. (2004). A Response-Discrimination Account of the Simon Effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(2), 365-377. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.2.365>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory : A Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Éds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, p. 89-195). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The Control of Short-Term Memory. *Scientific American*, 225(2), 82-91.
- Azaad, S., Laham, S. M., & Shields, P. (2019). A meta-analysis of the object-based compatibility effect. *Cognition*, 190, 105-127. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.04.028>
- Backus, B. (2011). Recruitment of New Visual Cues for Perceptual Appearance. In J. Trommershauser, K. Körding, & M. Landy (Éds.), *Sensory Cue Integration* (p. 1001-1109). Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2019). From short-term store to multicomponent working memory: The role of the modal model. *Memory & Cognition*, 47(4), 575-588. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0878-5>
- Badets, A., Andres, M., Di Luca, S., & Pesenti, M. (2007). Number magnitude potentiates action judgements. *Experimental Brain Research*, 180(3), 525-534. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-0870-y>
- Badets, A., & Osiurak, F. (2015). A goal-based mechanism for delayed motor intention : Considerations from motor skills, tool use and action memory. *Psychological Research*, 79(3), 345-360. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0581-5>
- Barsalou, L. W. (1999). *Perceptual symbol systems*.
- Barsalou, L. W. (2003). Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1319>

- Barsalou, L. W. (2008a). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617-645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Barsalou, L. W. (2008b). Grounding Symbolic Operations in the Brain's Modal Systems. In G. R. Semin & E. R. Smith (Éds.), *Embodied Grounding* (p. 9-42). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805837.002>
- Barsalou, L. W. (2009). Simulation, situated conceptualization, and prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1281-1289. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0319>
- Barsalou, L. W. (2010). Grounded Cognition : Past, Present, and Future. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716-724. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2010.01115.x>
- Barsalou, L. W. (2015). Situated conceptualization : Theory and application. In Y. Coello & M. H. Fischer (Éds.), *Perceptual and Emotional Embodiment : Foundations of Embodied Cognition* (Vol. 1). Psychology Press. <https://eprints.gla.ac.uk/112313/>
- Barsalou, L. W., Kyle Simmons, W., Barbey, A. K., & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 84-91. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00029-3)
- Bien, N., Atteveldt, N. van, Oever, S. ten, Wheat, K. L., & Sack, A. (2013). Audiovisual onset differences are used to determine the identity of ambiguous syllables. *Multisensory Research*, 26(1-2), 107-107. <https://doi.org/10.1163/22134808-000S0077>
- Bien, N., ten Oever, S., Goebel, R., & Sack, A. T. (2012). The sound of size : Crossmodal binding in pitch-size synesthesia: A combined TMS, EEG and psychophysics study. *NeuroImage*, 59(1), 663-672. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.095>
- Borghia, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351>
- Brannon, E. M., & Roitman, J. D. (2003). Nonverbal representations of time and number in animals and human infants. In *Functional and neural mechanisms of interval timing* (p. 143-182). CRC Press/Routledge/Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9780203009574.ch6>
- Brouillet, D., Michalland, A.-H., Guerineau, R., Draushika, M., & Thebault, G. (2019). How does simulation of an observed external body state influence categorisation of an easily graspable object? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(6), 1466-1477. <https://doi.org/10.1177/1747021818801484>
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Kumar, R. (2018). Time course of motor affordances evoked by pictured objects and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(1), 53-68. <https://doi.org/10.1037/xhp0000431>
- Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1831-1840. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0028>

- Buxbaum, L. J., & Kalénine, S. (2010). Action knowledge, visuomotor activation, and embodiment in the two action systems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191, 201-218. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05447.x>
- Camus, T., Hommel, B., Brunel, L., & Brouillet, T. (2018). From anticipation to integration : The role of integrated action-effects in building sensorimotor contingencies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(3), 1059-1065. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1308-6>
- Carpenter, W. B. (1852). On the influence of suggestion in modifying and directing muscular movement, independently of volition. *Proceedings of the Royal Institution*, 147-154.
- Castiello, U. (2005). The neuroscience of grasping. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(9), Art. 9. <https://doi.org/10.1038/nrn1744>
- Chemero, A. (2003). An Outline of a Theory of Affordances. In *How Shall Affordances Be Refined?* Routledge.
- Cho, D., & Proctor, R. (2010). The Object-Based Simon Effect : Grasping Affordance or Relative Location of the Graspable Part? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 36, 853-861. <https://doi.org/10.1037/a0019328>
- Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2013). Object-based correspondence effects for action-relevant and surface-property judgments with keypress responses : Evidence for a basis in spatial coding. *Psychological Research*, 77(5), 618-636. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0458-4>
- Cho, Y. S., Bae, G. Y., & Proctor, R. W. (2012). Referential coding contributes to the horizontal SMARC effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(3), 726-734. <https://doi.org/10.1037/a0026157>
- Chong, I., & Proctor, R. W. (2020). On the Evolution of a Radical Concept : Affordances According to Gibson and Their Subsequent Use and Development. *Perspectives on Psychological Science*, 15(1), 117-132. <https://doi.org/10.1177/1745691619868207>
- Coutte, A., Camus, T., Heurley, L., & Brouillet, D. (2017). Integration of Action and Size Perception Through Practice. *Perception*, 46(10), 1194-1201. <https://doi.org/10.1177/0301006617715378>
- Cowan, N. (2019). Short-term Memory Based on Activated Long-term Memory : A Review In Response to. *Psychological bulletin*, 145(8), 822-847. <https://doi.org/10.1037/bul0000199>
- Damasio, A. R. (1989). The Brain Binds Entities and Events by Multiregional Activation from Convergence Zones. *Neural Computation*, 1(1), 123-132. <https://doi.org/10.1162/neco.1989.1.1.123>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371-396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Derbyshire, N., Ellis, R., & Tucker, M. (2006). The potentiation of two components of the reach-to-grasp action during object categorisation in visual memory. *Acta Psychologica*, 122(1), 74-98. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.10.004>

- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30, 412-431. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(69\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(69)90065-1)
- Eder, A. B., & Dignath, D. (2017). Influence of verbal instructions on effect-based action control. *Psychological Research*, 11.
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451-471. <https://doi.org/10.1348/000712600161934>
- Elsner, B., & Hommel, B. (2001). *Effect Anticipation and Action Control*. 27(1), 229-240.
- Elsner, B., & Hommel, B. (2004). Contiguity and contingency in action-effect learning. *Psychological research*, 68, 138-154. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0151-8>
- Evans, K. K., & Treisman, A. (2010). Natural cross-modal mappings between visual and auditory features. *Journal of Vision*, 10(1), 6. <https://doi.org/10.1167/10.1.6>
- Ferri, F., Riggio, L., Gallese, V., & Costantini, M. (2011). Objects and their nouns in peripersonal space. *Neuropsychologia*, 49(13), 3519-3524. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.09.001>
- Fischer, M. (2003). Spatial representations in number processing—evidence from a pointing task. *Visual Cognition*, 10(4), 493-508. <https://doi.org/10.1080/13506280244000186>
- Fodor, J. A. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press.
- Fodor, J. A. (1983). *The Modularity of Mind*. MIT Press.
- Fodor, J. A. (1985). Precis of The Modularity of Mind. *The Behavioral and Brain Sciences*, 8, 1-42.
- Gallace, A., & Spence, C. (2006). Multisensory synesthetic interactions in the speeded classification of visual size. *Perception & Psychophysics*, 68(7), 1191-1203. <https://doi.org/10.3758/BF03193720>
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition : From reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(2), 59-65. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01424-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01424-2)
- Gibson, E. J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Appleton-Century-Crofts.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world* (p. xii, 242). Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. In R. Shaw, & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gibson, J.J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context effects on the processing of action-relevant object features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(2), 330-340. <https://doi.org/10.1037/a0017180>
- Glenberg, A. M., & Robertson, D. A. (2000). Symbol Grounding and Meaning : A Comparison of High-Dimensional and Embodied Theories of Meaning. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 379-401. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2714>

- Godard, M., Wamain, Y., & Kalénine, S. (2019). Do manufactured and natural objects evoke similar motor information? The case of action priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(12), 2801-2806. <https://doi.org/10.1177/1747021819862210>
- Goldberg, R. F., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2006). Perceptual Knowledge Retrieval Activates Sensory Brain Regions. *Journal of Neuroscience*, 26(18), 4917-4921. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5389-05.2006>
- Goodale, M. A. (2021). Lessons from human vision for robotic design. *Autonomous Intelligent Systems*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s43684-021-00002-2>
- Goodale, M. A., & Keith Humphrey, G. (1998). The objects of action and perception. *Cognition*, 67(1), 181-207. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00017-1)
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20-25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., & Carey, D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349(6305), Art. 6305. <https://doi.org/10.1038/349154a0>
- Goodale, M. A., & Servos, P. (1992). Now you see it, now you don't : How delaying an action system can transform a theory. *Behavioral and Brain Sciences*, 15(2), 335-336. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00068941>
- Gozli, D. G., Huffman, G., & Pratt, J. (2016). Acting and anticipating : Impact of outcome-compatible distractor depends on response selection efficiency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(10), 1601-1614. <https://doi.org/10.1037/xhp0000238>
- Greenwald, A. G. (1970a). Sensory feedback mechanisms in performance control : With special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological Review*, 77(2), 73-99. <https://doi.org/10.1037/h0028689>
- Greenwald, A. G. (1970b). A double stimulation test of ideomotor theory with implications for selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, 84(3), 392-398. <https://doi.org/10.1037/h0029282>
- Greenwald, A. G. (1970c). A choice reaction time test of ideomotor theory. *Journal of Experimental Psychology*, 86(1), 20-25. <https://doi.org/10.1037/h0029960>
- Grèzes, J., & Decety, J. (2002). Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study. *Neuropsychologia*, 40(2), 212-222. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00089-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00089-6)
- Grèzes, J., Tucker, M., Armony, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action : An fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, 17(12), 2735-2740. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02695.x>

- Grosjean, M., & Mordkoff, J. T. (2002). Post-response stimulation and the Simon effect : Further evidence of action-effect integration. *Visual Cognition*, 9(4-5), 528-539. <https://doi.org/10.1080/13506280143000566>
- Guerineau, R., Heurley, L. P., Brouillet, D., & Dru, V. (Manuscrit en révision-a). The magnitude of post-response outcomes did not modulate the potentiation effect of grasping behaviours. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Guerineau, R., Heurley, L. P., Brouillet, D., & Dru, V. (Manuscrit en préparation). Decreasing the attention towards the response device did not modulate the potentiation effect of grasping behaviours. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Guerineau, R., Heurley, L. P., Morgado, N., Brouillet, D., & Dru, V. (2021). Anticipating the magnitude of response outcomes can induce a potentiation effect for manipulable objects. *Psychological Research*, 3(86), 667-684. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01535-0>
- Guerineau, R., Heurley, L. P., Sabek, H., Brouillet, D., & Dru, V. (Manuscrit en révision-b). The verbal instruction related to action effects can influence the potentiation effect of grasping behaviours. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Guiard, Y. (1983). the lateral coding of rotations : A study of the simon effect with wheel-rotation responses. *Journal of Motor Behavior*, 15(4), 331-342.
- Harleß, E. (1861). Der Apparat des Willens. *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 38(2), 50-73.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 42(1), 335-346. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(90\)90087-6](https://doi.org/10.1016/0167-2789(90)90087-6)
- Harrak, M. H., Heurley, L. P., Morgado, N., Mennella, R., & Dru, V. (2022). The visual size of graspable objects is needed to induce the potentiation of grasping behaviors even with verbal stimuli. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x>
- Hensel, W., Lubiszewski, D., Nowakowski, P., Strehlau, N., & Wachowski, W. (2012). AVANT. *The Journal of the Philosophical-Interdisciplinary Vanguard* (Toruń, Vol. 3).
- Herbart, J. F. (1825). *Psychologie als Wissenschaft neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik*. Zweiter, analytischer Teil. Königsberg, Germany: Unzer.
- Herwig, A., & Horstmann, G. (2011). Action–effect associations revealed by eye movements. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(3), 531-537. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0063-3>
- Herwig, A., Prinz, W., & Waszak, F. (2007). Two Modes of Sensorimotor Integration in Intention-Based and Stimulus-Based Actions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(11), 1540-1554. <https://doi.org/10.1080/17470210601119134>
- Herwig, A., & Waszak, F. (2009). Short Article : Intention and attention in ideomotor learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 219-227. <https://doi.org/10.1080/17470210802373290>

- Herwig, A., & Waszak, F. (2012). Action-Effect Bindings and Ideomotor Learning in Intention- and Stimulus-Based Actions. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2012.00444>
- Heurley, L. P., Harrak, M. H., Guerineau R., Ferrier, L. P., & Morgado, N. (Manuscrit en révision-a). The visual size is enough to automatically induce the potentiation of grasping behaviors. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Heurley, L. P., Brouillet, T., Coutté, A., & Morgado, N. (2020). Size coding of alternative responses is sufficient to induce a potentiation effect with manipulable objects. *Cognition*, 205, 104377. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104377>
- Heurley, L. P., Guerineau, R., & Sabek, H. (Manuscrit en révision-c). Beyond grasping: syllables processing influences mere manual keypress. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Heurley, L. P., Thébault, G., Guerineau, R., & Michalland, A. H. (Manuscrit en révision-b). The size coding of responses: the size of switches and the force feedback. Département de STAPS, Université Paris Nanterre.
- Hommel, B. (1993). *Inverting the Simon effect by intention*. 10.
- Hommel, B. (1996). The cognitive representation of action : Automatic integration of perceived action effects. *Psychological Research*, 59(3), 176-186. <https://doi.org/10.1007/BF00425832>
- 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. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, 136(2), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- Hommel, B. (2013). Ideomotor Action Control : On the Perceptual Grounding of Voluntary Actions and Agents. In W. Prinz, M. Beisert, & A. Herwig (Éds.), *Action Science* (p. 112-136). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262018555.003.0005>
- Hommel, B. (2015). The theory of event coding (TEC) as embodied-cognition framework. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01318>
- Hommel, B. (2019). Theory of Event Coding (TEC) V2.0 : Representing and controlling perception and action. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(7), 2139-2154. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01779-4>
- Hommel, B. (2021). GOALIATH: A theory of goal-directed behavior. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-021-01563-w>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC) : A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849-878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>

- Ishihara, M., Keller, P. E., Rossetti, Y., & Prinz, W. (2008). Horizontal spatial representations of time : Evidence for the STEARC effect. *Cortex*, 44(4), 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.010>
- Ito, Y., & Hatta, T. (2004). Spatial structure of quantitative representation of numbers : Evidence from the SNARC effect. *Memory & Cognition*, 32(4), 662-673. <https://doi.org/10.3758/BF03195857>
- Jacobson, E. (1932). Electrophysiology of Mental Activities. *The American Journal of Psychology*, 44(4), 677-694. <https://doi.org/10.2307/1414531>
- James, W. (1890). *The principles of psychology, Vol I* (2004-16192-000). Henry Holt and Co. <https://doi.org/10.1037/10538-000>
- Jax, S. A., & Buxbaum, L. J. (2010). Response interference between functional and structural actions linked to the same familiar object. *Cognition*, 115(2), 350-355. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.01.004>
- Jax, S. A., & Buxbaum, L. J. (2013). Response interference between functional and structural object-related actions is increased in patients with ideomotor apraxia. *Journal of Neuropsychology*, 7(1), 12-18. <https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2012.02031.x>
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain : Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17(2), 187-202. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00034026>
- Kalénine, S., Shapiro, A. D., Flumini, A., Borghi, A. M., & Buxbaum, L. J. (2014). Visual context modulates potentiation of grasp types during semantic object categorization. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 645-651. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0536-7>
- Kalénine, S., Wamain, Y., Decroix, J., & Coello, Y. (2016). Conflict between object structural and functional affordances in peripersonal space. *Cognition*, 155, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.06.006>
- Kan, I. P., Barsalou, L. W., Olseth Solomon, K., Minor, J. K., & Thompson-Schill, S. L. (2003). Role of Mental Imagery in a Property Verification Task : Fmri Evidence for Perceptual Representations of Conceptual Knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 525-540. <https://doi.org/10.1080/02643290244000257>
- Keetels, M., & Vroomen, J. (2011). Sound affects the speed of visual processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37(3), 699-708. <https://doi.org/10.1037/a0020564>
- Kiefer, M., & Barsalou, L. (2013). Grounding the Human Conceptual System in Perception, Action, and Internal States. *Action science: Foundations of an emerging discipline*, 381-407. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262018555.003.0015>
- Kiverstein, J. (2012). The Meaning of Embodiment. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 740-758. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01219.x>
- Konkle, T., & Oliva, A. (2011). Canonical Visual Size for Real-World Objects. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 37(1), 23-37. <https://doi.org/10.1037/a0020413>

- Konkle, T., & Oliva, A. (2012). A Familiar-Size Stroop Effect : Real-World Size Is an Automatic Property of Object Representation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(3), 561-569. <https://doi.org/10.1037/a0028294>
- Konorski, J. (1967). Some new ideas concerning the physiological mechanisms of perception. *Acta Biologica Experimentalis*, 27(2), 147-161.
- Kornblum, S., & Hasbroucq, T. (1990). *Dimensional Overlap: Cognitive Basis for Stimulus-Response Compatibility—A Model and Taxonomy*. 18.
- Kornblum, S., & Lee, J.-W. (1995). Stimulus-response compatibility with relevant and irrelevant stimulus dimensions that do and do not overlap with the response. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 855-875. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.4.855>
- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(2), 387-394. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.2.387>
- Kunde, W., Landgraf, F., Paelecke, M., & Kiesel, A. (2007). Dorsal and Ventral Processing Under Dual-Task Conditions. *Psychological Science*, 18(2), 100-104. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01855.x>
- Laycock, T. (1845). On the Reflex Function of the Brain. *The British and Foreign Medical Review*, 19(37), 298-311.
- Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., & Henik, A. (2017). From “sense of number” to “sense of magnitude” : The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 40, e164. <https://doi.org/10.1017/S0140525X16000960>
- Lidji, P., Kolinsky, R., Lochy, A., & Morais, J. (2007). Spatial associations for musical stimuli : A piano in the head? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(5), 1189-1207. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.5.1189>
- Lindemann, O., Abolafia, J. M., Girardi, G., & Bekkering, H. (2007). Getting a grip on numbers : Numerical magnitude priming in object grasping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6), 1400-1409. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1400>
- Lobo, L., Heras-Escribano, M., & Travieso, D. (2018). The History and Philosophy of Ecological Psychology. *Frontiers in Psychology*, 9, 2228. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02228>
- Lotze, H. (1852). *Medicinische psychologie : Order, Physiologie der seele*. Weidmann.
- Lu, C., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance : A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2(2), 174-207. <https://doi.org/10.3758/BF03210959>
- Luria, A. R. (1961). *The Role of Speech in the Regulation of Normal and Abnormal Behavior* (J. Tizard, Éd.). Liveright Publishing Corporation.
- Luria, A. R. (1966). *Higher Cortical Functions in Man*. Basic Books.

- Luyat, M., & Regia-Corte, T. (2009). Les affordances : De James Jerome Gibson aux formalisations récentes du concept. *L'Année psychologique*, 109(02), 297. <https://doi.org/10.4074/S000350330900205X>
- Makris, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2011). Viewing objects and planning actions : On the potentiation of grasping behaviours by visual objects. *Brain and Cognition*, 77(2), 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.08.002>
- Marks, L. E. (1974). On Associations of Light and Sound : The Mediation of Brightness, Pitch, and Loudness. *The American Journal of Psychology*, 87(1/2), 173-188. <https://doi.org/10.2307/1422011>
- Marks, L. E. (1975). On colored-hearing synesthesia : Cross-modal translations of sensory dimensions. *Psychological Bulletin*, 82, 303-331. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.82.3.303>
- Marr, D. (1982). *Vision : A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. (W. H. Freeman, Éd.). W. H. Freeman.
- Martin A. 2001. Functional neuroimaging of semantic memory. In *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*, ed. R Cabeza, A Kingstone, pp. 153–86. Cambridge, MA: MIT Press.
- Martin, A. (2007). The Representation of Object Concepts in the Brain. *Annual Review of Psychology*, 58(1), 25-45. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.57.102904.190143>
- Masson, M. E. J. (2015). Toward a deeper understanding of embodiment. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 69(2), 159-164. <https://doi.org/10.1037/cep0000055>
- Matheson, H. E., & Barsalou, L. W. (2018). Embodiment and Grounding in Cognitive Neuroscience. In J. T. Wixted (Éd.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (p. 1-27). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn310>
- Matheson, H., White, N., & McMullen, P. (2015). Accessing embodied object representations from vision : A review. *Psychological Bulletin*, 141, 511-524. <https://doi.org/10.1037/bul0000001>
- Max, L. W. (1935). An experimental study of the motor theory of consciousness. III. Action-current responses in deaf-mutes during sleep, sensory stimulation and dreams. *Journal of Comparative Psychology*, 19, 469-486. <https://doi.org/10.1037/h0061830>
- Max, L. W. (1937). Experimental study of the motor theory of consciousness. IV. Action-current responses in the deaf during awakening, kinaesthetic imagery and abstract thinking. *Journal of Comparative Psychology*, 24, 301-344. <https://doi.org/10.1037/h0057481>
- Memelink, J., & Hommel, B. (2005). Attention, instruction, and response representation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(5), 674-685. <https://doi.org/10.1080/09541440540000059>
- Memelink, J., & Hommel, B. (2013). Intentional weighting: A basic principle in cognitive control. *Psychological Research*, 77(3), 249-259. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0435-y>

- Michalland, A.-H. (2019). *Main et Cognition : Les relations bi-directionnelles entre processus cognitifs et motricité manuelle* [Theses, Université Paul Valéry Montpellier 3]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02574831>
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1993). Chapter 28 Visual pathways to perception and action. In T. P. Hicks, S. Molotchnikoff, & T. Ono (Éds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 95, p. 317-337). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(08\)60379-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(08)60379-9)
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.005>
- Moretto, G., & di Pellegrino, G. (2008). Grasping numbers. *Experimental Brain Research*, 188(4), 505-515. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1386-9>
- Napier, J. R. (1956). The prehensile movements of the human hand. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, 38-B(4), 902-913. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.38B4.902>
- Napier, J. R. (1960). Studies of the Hands of Living Primates. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 134(4), 647-657. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1960.tb05606.x>
- Nishimura, A., & Yokosawa, K. (2009). Effects of laterality and pitch height of an auditory accessory stimulus on horizontal response selection : The Simon effect and the SMARC effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(4), 666-670. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.4.666>
- Osiurak, F., & Badets, A. (2014). Pliers, not fingers : Tool-action effect in a motor intention paradigm. *Cognition*, 130(1), 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.09.005>
- Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance : Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*, 123(5), 534-568. <https://doi.org/10.1037/rev0000027>
- Paraskevopoulos, E., Kuchenbuch, A., Herholz, S. C., Foroglou, N., Bamidis, P., & Pantev, C. (2014). Tones and numbers : A combined EEG–MEG study on the effects of musical expertise in magnitude comparisons of audiovisual stimuli. *Human Brain Mapping*, 35(11), 5389-5400. <https://doi.org/10.1002/hbm.22558>
- Parise, C., & Spence, C. (2008). Synesthetic congruency modulates the temporal ventriloquism effect. *Neuroscience Letters*, 442(3), 257-261. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.010>
- Parise, C., & Spence, C. (2013). *Audiovisual Cross-Modal Correspondences in the General Population*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199603329.013.0039>
- Parise, C. V. (2015). Crossmodal Correspondences : Standing Issues and Experimental Guidelines. *Multisensory Research*, 29(1-3), 7-28. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002502>
- Parise, C. V., & Ernst, M. O. (2016). Correlation detection as a general mechanism for multisensory integration. *Nature Communications*, 7(1), 11543. <https://doi.org/10.1038/ncomms11543>

- Parise, C. V., & Spence, C. (2009). 'When Birds of a Feather Flock Together': Synesthetic Correspondences Modulate Audiovisual Integration in Non-Synesthetes. *PLoS ONE*, 4(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005664>
- Parise, C. V., Spence, C., & Deroy, O. (2015). Understanding the correspondences: Introduction to the special issue on crossmodal correspondences. *Multisensory Research*, 29(1-3), 1-6. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002517>
- Pecher, D., Roest, S., & Zeelenberg, R. (2019). The effect of grasp compatibility in go/no-go and two-choice tasks. *Memory & Cognition*, 47(6), 1076-1087. <https://doi.org/10.3758/s13421-019-00917-5>
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2004). Sensorimotor simulations underlie conceptual representations: Modality-specific effects of prior activation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(1), 164-167. <https://doi.org/10.3758/BF03206477>
- Pecher, D., & Zwaan, R. A. (2005). *Grounding Cognition: The Role of Perception and Action in Memory, Language, and Thinking*. Cambridge University Press.
- Pellicano, A., Iani, C., Maiorana, N. V., Horoufchin, H., Rubichi, S., Lugli, L., Nicoletti, R., & Binkofski, F. (2020). Correspondence effect driven by salient visual asymmetries in integral object stimuli. *Psychological Research*, 84(3), 728-742. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1079-3>
- Pellicano, A., Koch, I., & Binkofski, F. (2017). Location-coding account versus affordance-activation account in handle-to-hand correspondence effects: Evidence of Simon-like effects based on the coding of action direction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(9), 1647-1666. <https://doi.org/10.1037/xhp0000414>
- Pellicano, A., Lugli, L., Binkofski, F., Rubichi, S., Iani, C., & Nicoletti, R. (2019). The unimanual handle-to-hand correspondence effect: Evidence for a location coding account. *Psychological Research*, 83(7), 1383-1399. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1009-4>
- Pfister, R. (2019). Effect-based action control with body-related effects: Implications for empirical approaches to ideomotor action control. *Psychological Review*, 126(1), 153-161. <https://doi.org/10.1037/rev0000140>
- Pfister, R., Dolk, T., Prinz, W., & Kunde, W. (2014). Joint response-effect compatibility. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(3), 817-822. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0528-7>
- Pfister, R., Janczyk, M., Gressmann, M., Fournier, L. R., & Kunde, W. (2014). Good vibrations? Vibrotactile self-stimulation reveals anticipation of body-related action effects in motor control. *Experimental Brain Research*, 232(3), 847-854. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3796-6>
- Pfister, R., Kiesel, A., & Hoffmann, J. (2011). Learning at any rate: Action-effect learning for stimulus-based actions. *Psychological Research*, 75(1), 61-65. <https://doi.org/10.1007/s00426-010-0288-1>
- Pfister, R., & Kunde, W. (2013). Dissecting the response in response-effect compatibility. *Experimental Brain Research*, 224(4), 647-655. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3343-x>

- Phillips, J., & Ward, R. (2002). SR correspondence effects of irrelevant visual affordance : Time course and specificity of response activation. *Visual Cognition - VIS COGN*, 9. <https://doi.org/10.1080/13506280143000575>
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant. [The construction of the real in the child.]* (p. 398). Delachaux & Niestle.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children* (p. 419). W Norton & Co. <https://doi.org/10.1037/11494-000>
- Piaget, J. (1954). The development of object concept. In M. Cook (Éd.), *The construction of reality in the child* (p. 3-96). Basic Books. <https://doi.org/10.1037/11168-001>
- Piaget, J., & 1896-. (1967). *Biologie et connaissance; essai sur les relations entre les regulations organiques et les processus cognitifs.* Gallimard. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Biologie+et+connaissance%3B+essai+sur+les+relations+entre+les+regulations+organiques+et+les+processus+cognitifs&author=Piaget%2C+Jean&publication_year=1967
- Pieszek, M., Widmann, A., Gruber, T., & Schröger, E. (2013). The Human Brain Maintains Contradictory and Redundant Auditory Sensory Predictions. *PLOS ONE*, 8(1), e53634. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053634>
- Posner, M., Nissen, M., & Klein, R. (1976). Visual dominance : An information-processing account of its origins and significance. *Psychological review*, 83, 157-171. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.2.157>
- Proctor, R. W., Lien, M.-C., & Thompson, L. (2017). Do silhouettes and photographs produce fundamentally different object-based correspondence effects? *Cognition*, 169, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.08.009>
- Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the Concept of Affordance Add Anything to Explanations of Stimulus–Response Compatibility Effects? *Psychology of Learning and Motivation*, 60, 227-266. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8>
- Proctor, R. W., Miles, J. D., & Baroni, G. (2011). Reaction time distribution analysis of spatial correspondence effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 242-266. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0053-5>
- Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2006). *Stimulus-response compatibility principles : Data, theory, and application.* CRC/Taylor & Francis.
- Pulvermüller, F., Garagnani, M., & Wennekers, T. (2014). Thinking in circuits : Toward neurobiological explanation in cognitive neuroscience. *Biological Cybernetics*, 108(5), 573-593. <https://doi.org/10.1007/s00422-014-0603-9>
- Riener, C., & Stefanucci, J. (2014). Perception and/for/with/as Action. In L. A. Shapiro (Éd.), *The Routledge Handbook of Embodied Cognition* (p. 99-107). Routledge Press.

- Rossetti, Y., Jacquin-Courtois, S., Rode, G., Ota, H., Michel, C., & Boisson, D. (2004). Does Action Make the Link Between Number and Space Representation?: Visuo-Manual Adaptation Improves Number Bisection in Unilateral Neglect. *Psychological Science*, 15(6), 426-430. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00696.x>
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., Umiltà, C., & Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: The SMARC effect. *Cognition*, 99(2), 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.01.004>
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417-424. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00005756>
- Shapiro, L. A. (2011). *Embodied cognition* (1. publ). Routledge.
- Simmons, W. K., & Barsalou, L. W. (2003). The Similarity-in-Topography Principle: Reconciling Theories of Conceptual Deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 451-486. <https://doi.org/10.1080/02643290342000032>
- Simmons, W. K., Ramjee, V., Beauchamp, M. S., McRae, K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2007). A common neural substrate for perceiving and knowing about color. *Neuropsychologia*, 45(12), 2802-2810. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.002>
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 174-176. <https://doi.org/10.1037/h0027448>
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51, 300-304. <https://doi.org/10.1037/h0020586>
- Smimmo, L. (2015). *Micro-affordances during lexical processing: Considerations on the nature of object-knowledge representations*. University of Edinburgh.
- Song, X., Chen, J., & Proctor, R. W. (2014). Correspondence Effects with Torches: Grasping Affordance or Visual Feature Asymmetry? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(4), 665-675. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.824996>
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971-995. <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>
- Spence, C. (2022). Exploring Group Differences in the Crossmodal Correspondences. *Multisensory Research*, 35(6), 495-536. <https://doi.org/10.1163/22134808-bja10079>
- Stewart, L., Verdonschot, R. G., Nasralla, P., & Lanipekun, J. (2013). Action–perception coupling in pianists: Learned mappings or spatial musical association of response codes (SMARC) effect? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(1), 37-50. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.687385>
- 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>

- Symes, E., Ottoboni, G., Tucker, M., Ellis, R., & Tessari, A. (2010). When Motor Attention Improves Selective Attention : The Dissociating Role of Saliency. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(7), 1387-1397. <https://doi.org/10.1080/17470210903380806>
- Symes, E., Tucker, M., Ellis, R., Vainio, L., & Ottoboni, G. (2008). Grasp preparation improves change detection for congruent objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(4), 854-871. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.4.854>
- Thébault, G. (2019). *Influence des sensations corporelles dans l'anticipation de l'action*.
- Thébault, G., Michalland, A.-H., Derozier, V., Chabrier, S., & Brouillet, D. (2018). When the vibrations allow for anticipating the force to be produced : An extend to Pfister et al. (2014). *Experimental Brain Research*, 236(4), 1219-1223. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5190-x>
- Thébault, G., Pfister, R., Michalland, A.-H., & Brouillet, D. (2020). Flexible weighting of body-related effects in action production. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73(9), 1360-1367. <https://doi.org/10.1177/1747021820911793>
- Thompson-Schill, S. L. (2003). Neuroimaging studies of semantic memory : Inferring “how” from “where”. *Neuropsychologia*, 41(3), 280-292. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00161-6)
- Thorndike, E. L. (1913). Ideo-motor action. *Psychological Review*, 20, 91-106. <https://doi.org/10.1037/h0072027>
- 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), 830-846. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.830>
- 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>
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, 116(2), 185-203. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.01.004>
- Turvey, M. T. (1992). Affordances and Prospective Control : An Outline of the Ontology. *Ecological Psychology*, 4(3), 173-187. https://doi.org/10.1207/s15326969ecp0403_3
- Vainio, L., Symes, E., Ellis, R., Tucker, M., & Ottoboni, G. (2008). On the relations between action planning, object identification, and motor representations of observed actions and objects. *Cognition*, 108(2), 444-465. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.03.007>
- Vainio, L., Tiainen, M., Tiippana, K., & Vainio, M. (2014). Shared processing of planning articulatory gestures and grasping. *Experimental Brain Research*, 232(7), 2359-2368. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3932-y>
- Vainio, L., Tucker, M., & Ellis, R. (2007). Precision and power grip priming by observed grasping. *Brain and Cognition*, 65(2), 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.004>

- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind : Cognitive science and human experience* (p. xx, 308). The MIT Press.
- Vogel, D., Rudolf, M., & Scherbaum, S. (2020). The impact of the verbal instruction and task characteristics on effect-based action control. *Cognitive Processing*, 21(2), 271-285. <https://doi.org/10.1007/s10339-020-00960-0>
- Walker, P., & Smith, S. (1985). Stroop Interference Based on the Multimodal Correlates of Haptic Size and Auditory Pitch. *Perception*, 14(6), 729-736. <https://doi.org/10.1068/p140729>
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude : Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- Wamain, Y., Sahai, A., Decroix, J., Coello, Y., & Kalénine, S. (2018). Conflict between gesture representations extinguishes μ rhythm desynchronization during manipulable object perception : An EEG study. *Biological Psychology*, 132, 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.12.004>
- Wang, D.-Y. D., Proctor, R. W., & Pick, D. F. (2007). Coding controlled and triggered cursor movements as action effects: Influences on the auditory Simon effect for wheel-rotation responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 657-669. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.3.657>
- Whitwell, R. L., Katz, N. J., Goodale, M. A., & Enns, J. T. (2020). The Role of Haptic Expectations in Reaching to Grasp : From Pantomime to Natural Grasps and Back Again. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.588428>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636. <https://doi.org/10.3758/BF03196322>
- Wirth, R., Pfister, R., Brandes, J., & Kunde, W. (2016). Stroking me softly : Body-related effects in effect-based action control. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(6), 1755-1770. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1151-2>
- Xiong, A., Proctor, R. W., & Zelaznik, H. N. (2019). Visual salience, not the graspable part of a pictured eating utensil, grabs attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(5), 1454-1463. <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01679-7>
- Yamaguchi, M., & Proctor, R. W. (2011). The Simon task with multi-component responses : Two loci of response-effect compatibility. *Psychological Research*, 75(3), 214-226. <https://doi.org/10.1007/s00426-010-0299-y>