Université Paris Nanterre
200 av. de la République
92001 Nanterre Cedex
www.parisnanterre.fr

Membre de l'université Paris Lumières

École doctorale 566 : Sciences du sport, de la motricité et du mouvement humain
Laboratoire sur les interactions Cognition, Action, Émotion

Mohamed Halim HARRAK

L'effet de potentialisation motrice

De la simulation motrice à la compatibilité de codes

Thèse présentée et soutenue publiquement le *06/01/2023*
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 (Université Paris Nanterre)

Jury * **:**

Rapportrice	Mme Lucette TOUSSAINT	Professeur, Université de Poitiers
Rapporteur	M. Lionel BRUNEL	Maître de Conférences HDR, Université Paul-Valéry Montpellier 3
Examinatrice	Mme Aïna CHALABAEV	Professeur, Université Grenoble Alpes
Examinateur	M. Michel-Ange AMORIM	Professeur, Université Paris-Saclay
Directeur de thèse	M. Dru VINCENT	Professeur, Université Paris Nanterre
Codirecteur de thèse	M. Loïc HEURLEY	Maître de Conférences, Université Paris Nanterre

Dédicaces

A mes parents, Mohamed Harrak et Zohra Gharbi,
mon frère Hassib et à ma sœur Myriam
Je dédie le fruit de mes efforts

Remerciements

La réalisation de cette thèse n'est pas uniquement le fruit de mes efforts, plusieurs personnes m'ont aidé, que ce soit dans l'effort de recherche ou encore en assurant les conditions propices à sa réalisation. Les premiers, à qui j'exprime ma gratitude et ma profonde reconnaissance, sont mes deux codirecteurs de thèses, Loïc Heurley et Vincent Dru. Je les remercie vivement, d'abord pour avoir accepté de diriger ma thèse, ensuite parce qu'ils n'ont pas ménagé leur effort pour m'aider, me guider, me conseiller et corriger mes erreurs.

Je n'oublierai jamais le temps que Loïc Heurley m'a consacré tout au long de mes années de master et de thèse. Grâce à mes longues discussions avec lui et à ses conseils, j'ai appris la rigueur, l'exigence et le courage pour réaliser cette thèse. En outre, je n'aurais jamais atteint ce niveau de maîtrise en psychologie cognitive et en matière de recherche sans son intervention. Pour cela, je lui serai éternellement reconnaissant.

Je remercie également Tarak Driss d'avoir accepté initialement ma candidature pour intégrer l'université de Nanterre ainsi que l'ensemble des co-auteurs du premier article que j'ai publié (Loïc Heurley, Nicolas Morgado, Rocco Mennella et Vincent Dru). Mes remerciements vont également à Alexandre Coutte et Laurence County, membres du comité de suivi de ma thèse, pour leur présence, disponibilité et conseils.

Je remercie aussi tous les enseignants et doctorants qui m'ont accueilli au sein du laboratoire LICAE.

La plus grande richesse de cette thèse, ce sont ses résultats qui n'auraient jamais pu voir le jour sans la collaboration de soldats invisibles qui sont les étudiants ayant pris part aux différentes expériences menées en laboratoire. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie également mes parents pour leur amour, patience et soutient inconditionnels, et mon frère Hassib et ma sœur Myriam pour leur affection et perpétuel encouragement.

A tous ceux qui m'ont aidé et soutenu d'une manière ou d'une autre, ne serait-ce que par leur encouragement, notamment Léa Roten, Ala Atyaoui, Marouan Lagha, Wahida Lagha et Nadia Samet Warren, merci beaucoup.

Un grand merci aux professeurs et enseignants de l'Université de Paris Nanterre, qui m'ont beaucoup appris depuis ma troisième année de licence jusqu'à aujourd'hui, et au personnel administratif qui a toujours été à l'écoute.

Enfin, mes vifs remerciements s'adressent également aux rapporteurs et membres de cet honorable jury de thèse pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail de recherche.

Résumé

Notre objectif est de mieux comprendre les processus sous-jacents à l'effet de potentialisation motrice. Cet effet est une facilitation à réaliser une saisie puissante ou fine après la perception d'un objet associé respectivement à une saisie puissante ou fine (e.g., pomme vs cerise ; Ellis & Tucker, 2000). Une première approche, dite « simulationniste », défend l'idée que cet effet est induit par un processus de simulation motrice (Barsalou, 2008). Lors de la simple perception d'un objet, l'action habituelle serait automatiquement simulée sur la base de connaissances antérieures. La seconde approche, dite « par codage », défend en revanche que cet effet résulte d'une compatibilité de codes associés aux stimuli et aux réponses. Ces codes peuvent être des codes de taille (Miles & Proctor, 2014) ou de polarité (Proctor & Cho, 2006). Sur cette base, nous avons développé trois séries d'expérimentations afin de mettre à l'épreuve chacune de ces approches. Dans une première série, notre protocole expérimental consistait à présenter l'image ou le nom d'un objet saisissable impliquant une saisie puissante ou fine pour l'attraper (e.g., pomme vs cerise). Les participants devaient réaliser une saisie puissante ou fine en fonction de la couleur du stimulus cible. Les résultats supportent l'approche par codage. En effet, nous avons obtenu un effet de potentialisation uniquement lorsque les objets sont présentés dans une taille visuelle compatible avec leur taille réelle. Lorsque les images sont de tailles visuelles égalisées, l'effet n'apparaît plus. Il est important d'ajouter que l'on observe également un effet sur les noms d'objets mais uniquement lorsqu'ils sont mélangés avec des images d'objets de tailles différentes. Dans une seconde série de travaux, nous avons présenté des images et des noms d'objets conjointement avec un verbe d'action (i.e., saisir). L'objectif était de tester une prédiction de l'approche simulationniste selon laquelle, un processus de simulation pourrait être à l'œuvre du moment que les noms d'objets sont associés à un verbe d'action. Comme dans la première série de travaux, nous n'observons un effet que lorsque les objets sont présentés dans une taille visuelle compatible avec leur taille réelle. Nous n'observons pas d'effet avec les noms d'objets. De plus, aucune modulation de l'effet de potentialisation par le type de verbes présentés n'a été observée. Ces résultats sont donc plutôt cohérents avec une approche par codage. Enfin dans une dernière série de travaux, notre objectif consistait à tester la possibilité de trouver un effet de potentialisation lorsque des noms d'objets sont associés à une certaine taille par le biais d'un adjectif (e.g., grand vs petit) ou d'un nombre (e.g., 1 vs 1000). Les résultats obtenus supportent partiellement cette possibilité. Ces résultats sont par conséquent cohérents avec une approche par codage et plus spécifiquement une approche par codage de polarité plutôt que de taille. Pris ensemble, ces différents travaux supportent donc une approche par codage au lieu d'une approche simulationniste de l'effet de potentialisation motrice. En discussion de ce travail, nous aborderons la nature des processus réellement engagés. Nous discuterons également de l'hypothèse d'un transfert de codes supporté par nos résultats expérimentaux. Enfin, nous nuancerons nos conclusions au regard des spécificités de notre protocole expérimental (i.e., utilisation d'une tâche de discrimination chromatique, utilisation d'objets naturels et utilisation d'un dispositif de réponse intra-main).

Mots clés : Effet de potentialisation, approche simulationniste, approche par codage, langage, objets saisissables

Abstract

Our goal is to better understand the processes underlying the motor potentiation effect. This effect is a facilitation to achieve a power or precision grip after the perception of an object associated respectively with a power or precision grip (e.g., apple vs cherry; Ellis & Tucker, 2000). A first account, called « the simulationist account », assumes the idea that this effect is induced by a process of motor simulation (Barsalou, 2008). When merely perceiving an object, the usual action would be automatically simulated based on prior knowledge. The second account, called « the coding account », on the other hand assumes that this effect would be due to a compatibility of codes associated with stimuli and responses. These codes can be size codes (Miles & Proctor, 2014) or polarity codes (Proctor & Cho, 2006). On this basis, we developed three series of experiments to test the predictions of both accounts. In a first series, our experimental protocol consisted in presenting the picture or the name of a graspable object usually involving a power or precision grip in order to grasp it (e.g., an apple vs a cherry). Participants had to make a power or precision grip depending on the color of the target stimulus. The results support the coding account. In fact, we obtained a potentiation effect only when the objects are presented in a visual size matching their actual size in everyday life. When the pictures are in an equalized visual size, the potentiation effect did not appear anymore. It is important to add that we also observe an effect on the names of objects but only when they are mixed with pictures of objects with different sizes. In a second series of experiments, we presented pictures and names of objects with an action verb (i.e., to grasp). The goal was to test a prediction of the simulationist account according to which a simulation process could be at work as long as the nouns of objects are associated with an action verb. As in the first series of experiments, we observe an effect only when the objects are presented in a visual size which is compatible with their actual size. We do not observe an effect with object names. Furthermore, no modulation of the potentiation effect by the kind of verbs presented was observed. These results are therefore rather consistent with a coding approach. Finally, in a last series of experiments, we aimed to test the possibility to find a potentiation effect when object names are associated with a peculiar size thanks to an adjective (e.g., large vs. small) or a number (e.g., 1 vs 1000). The results obtained partially support this possibility. These results are therefore consistent with a coding account and more specifically with a polarity coding account rather than a size coding account. Taken together, therefore, these different works support a coding account of the motor potentiation effect instead of a simulationist one. Throughout the discussion of this paper, we will address the nature of the processes actually engaged. We also discussed the code transfer hypothesis supported by our experimental results. Lastly, we qualified our conclusions in relation to the specificities of our experimental protocol (i.e., the use of a chromatic discrimination task, the use of natural objects and the use of an intra-hand response device).

Keywords: Potentiation effect, simulationist approach, coding approach, language, graspable objects

Table des matières

I. INTRODUCTION 13
1. L'approche incarnée 13
2. L'approche par codage 16
3. La problématique 18
II. LES APPROCHES THÉORIQUES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION 23
1. La simulation sensorimotrice 23
1.1. Le processus de capture 24
1.2. La construction du simulateur 25
1.3. Le processus de simulation 26
1.4. L'explication simulationniste de l'effet de potentialisation motrice 27
2. Le codage des stimuli et des réponses 28
2.1. L'approche par codage de polarité 29
2.2. L'approche par codage de taille 31
2.3. La théorie de discrimination de réponse 33
2.4. La théorie de codage des événements 37
2.5. D'une approche simulationniste à une approche par codage 38
III. LES APPROCHES EXPÉRIMENTALES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION ... 43
1. Les travaux princeps et le débat dorso-ventral 43
2. La vision un facteur confondu 50
3. Une influence des connaissances 53
3.1. Les travaux sur le langage 53
3.1.1. Les preuves comportementales 59
3.1.2. Les preuves de neuroimagerie 62
3.2. Une influence des odeurs 65
3.3. Une influence des goûts 66
4. D'autres questions relatives à l'effet de potentialisation motrice 67
4.1. La fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation motrice 67
4.2. Le contexte visuel module l'effet de potentialisation motrice 69
4.3. Le type de décision relative à la tâche module l'effet de potentialisation 70
4.4. Les objets artificiels et naturels 72
4.5. Une influence des traitements numériques 74
4.6. Une influence du son 78
4.7. Une influence des gestes articulatoires 80
IV. LES HYPOTHÈSES DE LA THÈSE 85

1. Première hypothèse : L'importance de la taille visuelle 85
2. Deuxième hypothèse : L'effet de potentialisation motrice peut être induit avec une approche par codage de polarité 86
3. Troisième hypothèse : Les verbes d'action peuvent faciliter la production d'un effet de potentialisation motrice pour des mots 87
4. Quatrième hypothèse : l'approche par codage de taille pourrait dépendre de la taille conceptuelle 88
5. Cinquième hypothèse : Les adjectifs (i.e., "grand" vs. "petit") et les nombres (i.e., "1000" vs. "1") peuvent induire un effet de potentialisation sur des mots avec un processus de transfert de code dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse 89
6. Sixième hypothèse : L'importance d'une tâche de discrimination chromatique 90
7. Septième hypothèse : L'importance de SOA 90

V. TRAVAIL EXPÉRIMENTAL 95

1. Première série d'expériences : Le rôle de la taille visuelle et des mots 95
   1.1. Les objectifs 95
   1.2. Article 1 97
2. Deuxième série d'expériences : L'importance des verbes d'action 120
   2.1. Les objectifs 120
   2.2. Article 2 122
3. Troisième série d'expériences : Le transfert de code de taille 147
   3.1. Les objectifs 148
   3.2. Article 3 149

VI. DISCUSSION GÉNÉRALE 179

1. Première série d'expériences : Le rôle de la taille visuelle et des mots 180
   1.1. Expérience 1 182
   1.2. Expérience 2 183
   1.3. Expérience 3 184
2. Deuxième série d'expériences : L'importance des verbes d'action 185
   2.1. Expérience 4 187
   2.2. Expérience 5 188
3. Troisième série d'expériences : Le transfert de code de taille 191
   3.1. Expérience 6 192
   3.2. Expérience 7 195
   3.3. Expérience 8 195
   3.4. Expérience 9 196
4. L'approche simulationniste ou l'approche par codage ? 199

5. L’approche par codage de taille ou l’approche par codage de polarité ? 200
6. La dynamique temporelle de l'effet de potentialisation 203
7. Les limites de la thèse 205
7.1. La tâche 205
7.2. La catégorie des objets 206
7.3. Le dispositif de réponse 207
7.4. L’approche par codage 208
VII. CONCLUSION 211
VIII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 215

Index des figures

Numéro de la figure	Intitulé de la figure	Page
1	Dessin d'une pomme au trait noir	15
2	Dispositif de réponse de Tucker et Ellis, (2001), qui a été utilisé pour réaliser l'ensemble des expériences de notre thèse	19
3	Les dispositifs de réponse utilisés par Heurley et al. 2020. Expérience 1 (a) ; Expérience 2 (b) ; Expérience 3 (c) ; Expérience 4 (d)	32
4	Dispositif de réponse de Pecher et al. (2019). Configuration go / no-go et configuration avec deux choix de réponses	36
5	Condition expérimentale de la présentation des objets dans l'expérience 1 et 2 de Derbyshire et al. (2006)	49
6	Tableau récapitulatif de certains travaux expérimentaux qui démontrent un effet de potentialisation des comportements de saisie	51
7	Graphique représentant les résultats des expériences 1 et 3 de Taylor et Zwaan. 2010	53
8	Exemple d'un essai expérimental de l'expérience 1 de Flumini et al. (2015)	58
9	La procédure expérimentale de l'étude de Boulenger et al. 2008	61
10	Dispositif de réponse de Lindemann et al. (2007).	78

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

L'effet de potentialisation est la facilitation de réponses motrices dans une situation compatible par rapport à une situation incompatible, et il s'opère particulièrement dans un paradigme de compatibilité Stimulus-Réponse (i.e., S-R). Initialement, cet effet est expliqué via le concept de micro-affordances qui suggère une influence du système moteur au niveau de la représentation visuelle des objets (Tucker & Ellis, 1998 ; Tucker & Ellis, 2001). Ainsi, cette représentation inclurait une activation partielle d'un pattern moteur associé à leurs affordances (i.e., possibilités d'action). Plus précisément, le terme micro-affordance fait référence à des composantes de l'action (e.g., ouverture de la main lors d'un geste de saisie) qui sont associées à des propriétés d'objets (e.g., taille de l'objet à saisir, voir également Glenberg, 1997 pour une approche similaire). Par la suite, deux autres interprétations de l'effet de potentialisation ont été suggérées. Pour certains chercheurs, cet effet serait plutôt tributaire d'un processus de simulation sensorimotrice alors que pour d'autres, il serait plutôt tributaire d'un processus par codage. Notre objectif principal dans ce travail de thèse est de savoir quel processus est réellement à l'œuvre pour rendre compte de cet effet de potentialisation dans le cadre de l'utilisation d'une tâche de discrimination chromatique (i.e., catégorisation de la couleur) impliquant des processus automatiques. Je commencerai cette introduction en présentant l'approche incarnée de la cognition ainsi que l'approche par codage. Je terminerai en présentant une ébauche de la problématique sous-jacente à ce travail de thèse.

1. L'approche incarnée

La mémoire est définie comme la capacité à conserver des expériences passées et à les utiliser ultérieurement (Hintzman, 1984 ; Whittlesea, 1987). En revanche, définir les connaissances est plus compliqué. Une connaissance peut être conçue comme une accumulation d'expériences passées à propos d'un objet, d'une personne, d'une situation ou encore d'un évènement en particulier (McClelland & Rumelhart, 1985). Par exemple, au fur et à mesure que l'on interagit avec des pommes, nous construisons une connaissance de ce qu'est une pomme. Etant donné que cette connaissance représente l'objet "pomme" en mémoire, on dit souvent que les connaissances sont des représentations (i.e., dans le sens où elles représentent en mémoire un élément du monde). En revanche, ce qui est plus complexe, c'est que nos connaissances sont dites catégorielles. Par exemple, notre connaissance de la "pomme" découle de très nombreuses interactions avec des pommes. Au travers de ces multiples interactions, nous avons pu extraire beaucoup de caractéristiques associées aux pommes : elles sont arrondies, rouges ou vertes dans

la majorité des cas, leur taille est adaptée aux mains, sucrées, acidulées, croquantes lorsqu'on les mange, saisissables avec la main, c'est un aliment, qu'on trouve dans la cuisine, dans le frigo ou chez le marchand de fruits et légumes. Ainsi, il semble que l'on construise une forme de "catégorie mentale" ou "concept" sur les objets, comme le concept "POMME" par exemple. En résumé ce concept intègre ainsi de très nombreuses informations relatives à l'objet qu'il représente issues de très nombreuses expériences vécues avec cet objet (Barsalou, 1999).

Pour Kiefer et Barsalou (2013), la catégorisation est la capacité d'établir qu'une entité perçue appartienne à un groupe particulier de choses qui partagent des caractéristiques clés (i.e., catégorie ou concept). Autrement dit, à la suite de la perception d'un objet (e.g., pomme), on lui associe une connaissance et donc une catégorie (i.e., "POMME"). C'est ce que l'on appelle habituellement l'accès à une représentation conceptuelle ou l'accès conceptuel. Cette capacité à catégoriser nous permet alors d'attribuer à l'objet qu'on catégorise tous les attributs ou caractéristiques des membres de cette catégorie (i.e., inférence catégorielle). Donc si on nous présente un dessin d'un objet au trait noir et blanc (e.g., pomme ; voir Figure 1), nous savons que c'est une pomme, nous pouvons alors inférer sa taille, sa couleur, son goût ou encore les actions que nous pouvons réaliser avec cette dernière. Plus généralement, la catégorisation permet d'attribuer une signification à ce que l'on perçoit. La catégorisation et les inférences catégorielles sont donc classées comme des traitements conceptuels, car elles reposent sur des concepts (i.e., connaissances catégorielles).

Allport (1985) explique qu'il y a deux manières de concevoir l'implémentation d'une connaissance ou concept dans le cerveau. La première consiste à considérer qu'une connaissance correspond à une unité physique précise (e.g., neurone ou ensemble de neurones), ce qui implique que cette dernière serait dévouée à l'implémentation d'une seule et unique connaissance. La seconde possibilité est de concevoir qu'une connaissance correspond à un pattern d'activation particulier d'un ensemble de neurones. En effet, un même ensemble de neurones peut supporter différentes connaissances du moment que des patterns d'activations différents sont impliqués. Il parle alors de connaissances distribuées. Ainsi, les connaissances (ou les concepts) seraient des patterns d'activations cérébrales distribués sur l'ensemble du cortex incluant les aires sensorielles et motrices qui sont également impliquées dans la perception et l'action (i.e., approche incorporée des concepts). La distribution des patterns sur ces différentes structures neuronales dépend des attributs sensoriels et moteurs composant les connaissances.

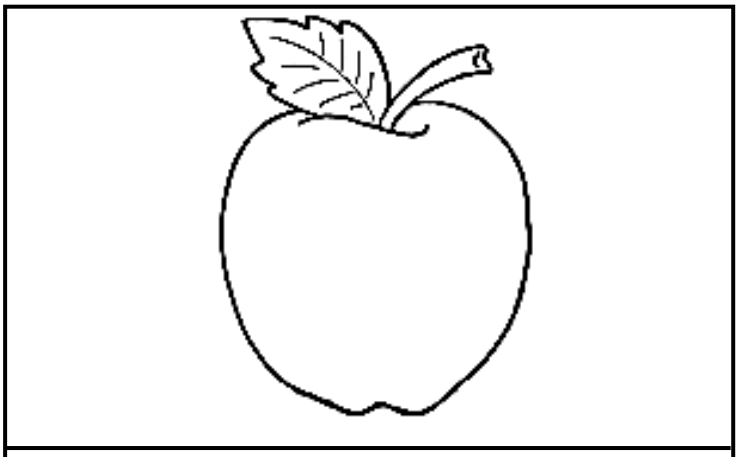


Figure 1. Dessin d'une pomme au trait noir

L'approche incarnée s'oppose à la perspective cognitiviste (modulariste) dans le sens où la cognition ne serait pas indépendante de la perception et de la motricité (Barsalou et al., 2003). Les connaissances ou concepts, dans ce contexte, impliqueraient les processus sensorimoteurs. Plus spécifiquement, les caractéristiques sensorielles associées au concept de "POMME" (e.g., arrondie, sucrée, acidulée, rouge ou verte, de la taille de la main) seraient représentées dans un format perceptif identique à celui utilisé par la perception (e.g., conceptualiser la couleur de la pomme impliquerait des processus visuels similaires à ceux utilisés afin de percevoir la couleur de la pomme en réalité). De même, les actions associées à ce concept (e.g., peut être saisie avec la main, peut être mangée) seraient représentées comme celles qui sont représentées par le système moteur (i.e., plans moteurs) (Pulvermüller, 2010). En outre, cette théorie envisage l'idée que pour accéder à une connaissance, il est essentiel de simuler à l'aide des processus sensorimoteurs l'ensemble des caractéristiques de l'expérience associée à l'objet, à la personne ou à l'événement représenté (Barsalou, 2008). Plus précisément, lorsqu'on voit le dessin au trait noir et blanc de la pomme (voir la Figure 1), avant de comprendre que c'est une pomme (accès conceptuel), nous devons simuler l'ensemble des caractéristiques perceptives et motrices associées à nos expériences avec une pomme (comme une forme d'image mentale sensorimotrice non consciente de la pomme). Autrement dit, c'est uniquement lorsque cette simulation aura abouti que la connaissance ou le concept de "POMME" émerge (Barsalou, 2009). Par conséquent, dans cette approche, le format de représentation est dit modal (i.e., car il dépend des modalités sensorielles et de la motricité).

La simulation sensorimotrice comporte trois phases majeures que nous allons rapidement détailler dans cette introduction pour que le lecteur comprenne les processus

adjacents à cette simulation sensorimotrice même si nous allons ultérieurement en parler d'une manière plus approfondie. Premièrement, il y a le processus de capture. Ce processus implique qu'à la suite de la perception d'un objet (i.e., entité physique / e.g., fraise), un état neuronal d'activation se produit pour toutes les modalités sensorielles grâce à l'activation des détecteurs de caractéristiques localisés dans les aires primaires sensorielles. Cet état d'activation est capable d'intégrer l'ensemble des actions effectuées avec un objet qui seraient ensuite capturé par les neurones conjonctifs pour une éventuelle utilisation ultérieure. La seconde phase est la construction du simulateur. Au fur et à mesure que différents membres d'une même catégorie (e.g., fraise) sont rencontrés, plusieurs états neuronaux d'activation se produisent ce qui permet la construction d'un simulateur qui représente l'ensemble de nos expériences vécues avec l'objet. Par ailleurs, les différentes composantes des connaissances sont conservées dans plusieurs parties du réseau cérébral qui sont fortement interconnectées. Enfin, la troisième phase est le processus de simulation. Dans cette dernière phase, à la suite de la perception d'un objet, un état d'activation partiel se produit (e.g., activation d'une partie du réseau cérébral). Ensuite, grâce à cette activation neuronale partielle, il se produit un processus de complétion de pattern qui implique l'activation de l'ensemble du réseau cérébral. Enfin, il se produit un processus d'inférence qui implique la simulation automatique des caractéristiques de l'objet qui ne sont pas perçues, mais qui sont conservées dans le simulateur. A la suite de la perception d'une fraise par exemple, une simulation sensorimotrice s'opère et permet la récupération de la saisie spécifique de cet objet (e.g., pour une fraise ça sera la saisie fine) qui sera amorcée dans le cerveau. À la suite de cela, si la personne doit effectuer une saisie (e.g., une saisie fine) similaire à celle évoquée par l'objet (e.g., une saisie fine) il y aura un effet de facilitation motrice (i.e., effet de potentialisation motrice). Ainsi l'approche simulationniste stipule que l'effet de potentialisation motrice est tributaire d'une simulation motrice.

2. L'approche par codage

Cependant, une approche basée sur du codage pourrait aussi expliquer cet effet de potentialisation motrice sans forcément impliquer la mémoire contrairement à l'approche simulationniste. L'approche par codage est composée par plusieurs sous-théories qui ne font pas appel au même processus. Plus précisément, deux sous-théories de l'approche par codage sont capables de rendre compte de cet effet de potentialisation par le biais d'une compatibilité de codes.

La première sous-théorie de codage est basée sur une approche par codage de polarité. Le modèle de Proctor et Cho (2006) est basé sur un système de codage de polarité. Ce modèle

stipule que si les stimuli et les réponses diffèrent selon leur dimension perceptive, conceptuelle ou même structurelle cela peut permettre leur codage par polarité. Ainsi dans une tâche à choix binaire dans laquelle le participant doit choisir entre deux réponses en fonction de différents stimuli, un codage par polarité peut s'opérer dans certaines conditions à la suite de deux mécanismes. Le premier mécanisme est un codage de polarité des stimuli et des réponses. Ce mécanisme se produit uniquement si les stimuli et les réponses diffèrent par rapport à une dimension. Les stimuli qui se trouvent à une extrémité de cette dimension peuvent être codés avec un pôle positif "+" ou négatif "-" et ceux situés à l'autre extrémité de cette même dimension peuvent être codés avec le pôle complémentaire. De la même manière, la réponse qui se situe à une extrémité de la dimension peut être codée avec un pôle positif "+" ou négatif "-" et inversement pour l'autre réponse qui se trouve à l'autre extrémité. Par exemple, si on prend deux stimuli "A" et "B" et deux réponses "C" et "D" qui différent par rapport à leur dimension perceptive : le stimulus "A" est visuellement plus grand que le stimulus "B" et la réponse "C" est visuellement plus grande que la réponse "D", un système de codage de polarités pourrait être mis en œuvre. Ainsi, un code de polarité positif "+" peut être attribué au stimulus "A" (i.e., grand), alors qu'un code de polarité négatif peut être attribué au stimulus "B" (i.e., petit). De la même manière, un code de polarité positif "+" peut être attribué à la réponse "C" (i.e., grande) et un code de polarité négatif "-" peut être attribué à la réponse "D" (i.e., petite). Le deuxième mécanisme est une correspondance de polarité. Ce deuxième mécanisme stipule que s'il y a une correspondance de polarité entre les stimuli et les réponses (i.e., ++ ou --), une facilitation de la réponse se produit (e.g., effet de potentialisation motrice).

La deuxième sous-théorie de codage est basée sur une approche par codage de taille. Miles et Proctor (2014) et Masson (2015) suggèrent que l'effet de potentialisation peut être dû à une compatibilité entre les codes de taille associés aux stimuli et aux réponses. Par exemple, si on prend deux stimuli "A" et "B", qui différent par rapport à leur taille visuelle, et que le stimulus "A" est visuellement plus grand que le stimulus "B" : Le stimulus "A" induit automatiquement l'activation d'un code de grande taille et cela grâce à sa grande taille visuelle alors que le stimulus "B" induit automatiquement l'activation d'un code de petite taille et cela grâce à sa petite taille visuelle. Suivant le même raisonnement, si on prend deux réponse "C" et "D" qui différent par rapport à leur taille visuelle, cela peut favoriser le codage des réponses. Ainsi, la réponse "C" (i.e., grande) peut induire l'activation d'un code de grande taille alors que la réponse "D" (i.e., petite) peut induire l'activation d'un code de petite taille. De cette manière, lorsqu'il y'a une compatibilité de code de taille entre les stimuli et les réponses, un effet de potentialisation motrice se produit.

3. La problématique

Le protocole classique de l'étude de Tucker et Ellis (2001) démontre un effet de potentialisation motrice des gestes de saisie. Les participants percevaient l'image d'un objet saisissable qui est fortement associé à une saisie puissante (e.g., pomme) ou à une saisie fine (e.g., fraise). Ils devaient répondre en fonction de la catégorie conceptuelle des objets (i.e., artificiel vs. naturel) à l'aide d'un dispositif de réponse spécifique permettant de réaliser une saisie puissante ou fine (voir Figure 2). Les résultats ont indiqué un effet de potentialisation motrice. Plus précisément, les réponses impliquant une saisie puissante étaient plus rapides lorsque les participants ont perçu des objets impliquant habituellement une saisie puissante (e.g., pomme) par rapport à des objets impliquant habituellement une saisie fine (e.g., fraise). À l'inverse, Les résultats ont montré que les réponses impliquant une saisie fine étaient plus rapides lorsque les participants ont perçu des objets impliquant habituellement une saisie fine par rapport à des objets impliquant habituellement une saisie puissante.

Notre objectif principal consiste à déterminer si l'effet de potentialisation motrice résulte d'une approche simulationniste ou plutôt d'une approche de codage. En d'autres termes, est-ce-que cet effet de potentialisation motrice est tributaire d'une approche simulationniste ou d'une approche par codage ? Ensuite, si l'effet de potentialisation est tributaire d'une approche par codage, notre deuxième objectif consistera à trancher entre une approche par codage de taille et une approche par codage de polarité.

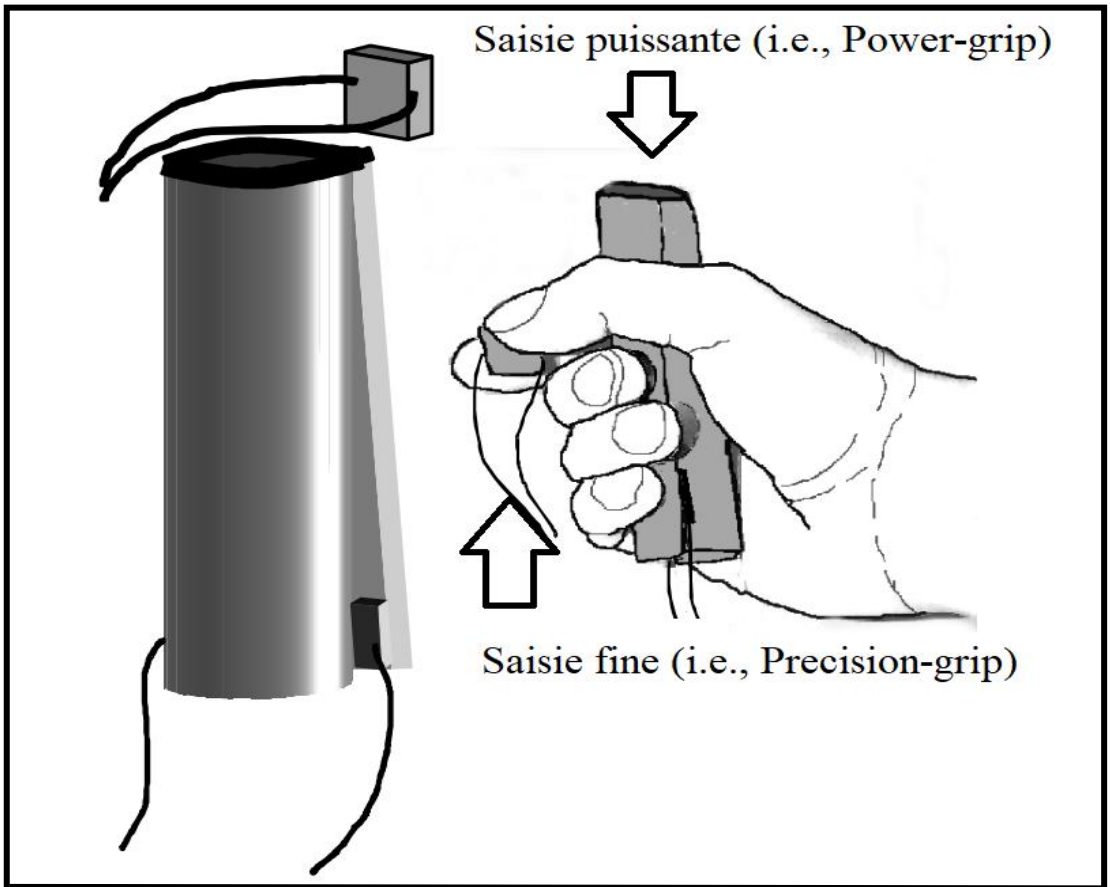


Figure 2. Dispositif de réponse de Tucker et Ellis, (2001), qui a été utilisé pour réaliser l'ensemble des expériences de notre thèse.

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons commencé par présenter l'effet de potentialisation motrice autour duquel s'articule cette thèse. Ensuite, nous avons présenté les deux approches alternatives (i.e., simulation vs. codage) qui pourraient expliquer cet effet de potentialisation motrice. Tout d'abord, nous avons présenté l'approche simulationniste qui est une sous-théorie de l'approche incarnée. De même, nous avons présenté l'approche par codage qui explique l'effet de potentialisation par une compatibilité de codes abstraits entre les stimuli et les réponses. Cela nous a conduit à exposer notre problématique qui consiste à déterminer si l'effet de potentialisation motrice est tributaire d'une approche simulationniste ou plutôt d'une approche par codage. Nous avons également mentionné que s'il s'avère que l'effet de potentialisation motrice dépend d'une approche par codage, nous essayerons de trancher entre deux approches alternatives : l'approche par codage de taille vs. l'approche par codage de polarité.

LES APPROCHES THÉORIQUES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION MOTRICE

II. LES APPROCHES THÉORIQUES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION

L'effet de potentialisation motrice est majoritairement expliqué par un processus associé à une théorie spécifique développée par Barsalou (2008, 2009) dans le cadre d'une approche incarnée des connaissances (i.e., théorie simulationniste). Cette théorie soutient l'idée que pour accéder aux connaissances (i.e., concepts), il est essentiel de simuler les caractéristiques de l'expérience associées à l'objet en utilisant des processus sensorimoteurs (i.e., simulation sensorimotrice). Cependant, d'autres chercheurs (e.g., Proctor & Cho, 2006 ; Miles & Proctor, 2014) suggèrent que cet effet de potentialisation s'explique par un processus de compatibilité de codage. Dans cette première section, nous allons développer chacune des deux approches potentiellement explicatives de cet effet de potentialisation. En outre, nous allons exposer ci-dessous les différentes perspectives de codage qui existent au niveau de la littérature.

1. La simulation sensorimotrice

L'approche incarnée stipule que la cognition est enracinée dans les systèmes sensori-moteurs, les actions et le corps (Barsalou, 2003). Cette approche a émergé grâce à deux facteurs majeurs. Le premier découle de l'obligation d'intégrer la contrainte du substrat neuronal (i.e., hardware) dans les modèles de la mémoire et plus largement de la cognition. Certains chercheurs comme Simmons et Barsalou (2003) se sont intéressés à divers troubles neuropsychologiques qui leur ont permis de se rendre compte de l'inadéquation des modèles cognitifs classiques à propos de la mémoire. Le second est la multitude des techniques d'imagerie cérébrale qui a vu le jour ces 30 dernières années. Ces techniques ont permis de distinguer d'une manière précise les corrélats entre les activations du cortex et les processus cognitifs. La mise en lumière de ces corrélats a légitimé les modèles sensorimoteurs ainsi que leurs extensions à différents domaines comme la conceptualisation (e.g., Tucker & Ellis, 2004), le traitement des nombres (e.g., Andres et al., 2004), la compréhension du langage (e.g., Glover et al., 2002) et même les gestes articulatoires (e.g., Tiainen et al., 2016).

Selon cette approche, il existe une théorie qui s'applique plus spécifiquement à la mémoire et à l'accès aux connaissances et qui s'oppose radicalement à l'approche cognitiviste classique. Il s'agit de la théorie de Barsalou (2008) qui considère que pour accéder aux connaissances (i.e., concepts), il est essentiel de simuler les caractéristiques de l'expérience associées à l'objet, aux personnes ou à l'événement représenté, en particulier en utilisant des processus sensorimoteurs. Nous allons détailler d'une manière plus approfondie les trois grands

construits de cette théorie pour étayer l'explication de l'effet de potentialisation avec cette approche.

1.1. Le processus de capture

Lorsqu'une entité physique ou un événement est perçu, des détecteurs de caractéristiques s'activent (i.e., « features detectors ») dans les aires primaires sensorielles pour chaque modalité sensorielle (Barsalou et al. 2003). Lors de la perception d'un objet (e.g., pomme), un état neuronal d'activation se produit simultanément pour toutes les modalités sensorielles (e.g., la vision, le goût, l'odorat, le toucher et l'ouïe) permettant ainsi la construction de la représentation perceptive de l'objet. Cet état neuronal a plusieurs caractéristiques. Tout d'abord, il est de nature sensorimotrice car l'état neuronal intégrerait l'ensemble des actions effectuées. Pour une pomme par exemple, l'état neuronal intègre le geste de saisie (i.e., saisie puissante), le geste d'atteinte, le geste de mastication ou encore les mouvements de coordination main-bouche. En outre, cet état neuronal peut intégrer des caractéristiques affectives (i.e., état émotionnel associé à la pomme), linguistiques (i.e., le nom de la pomme), situées (i.e., prise en compte des éléments contextuels), dynamiques (i.e., dure dans le temps de la même manière du temps mis pour interagir avec la pomme) et distribuées (i.e., car la représentation de la pomme est répartie sur l'ensemble du cortex).

Ces états d'activation localisés au niveau des aires primaires sensorielles, seraient alors capturés par des aires adjacentes dans lesquelles se trouvent des neurones dits « conjonctifs ». Ces neurones capturent les caractéristiques de l'objet pour une utilisation ultérieure. La capture intègre des informations provenant de l'ensemble des modalités sensorielles (i.e., couleurs, formes, goûts, sons, odeurs). En outre, elle intègre les caractéristiques motrices (i.e., mémoire des actions réalisées avec l'objet), affectives (i.e., sensations de plaisir ou de dégoût), linguistiques (i.e., nom de l'objet) et situationnelles (i.e., éléments contextuels). Damasio (1989) qualifie ces aires adjacentes de zones de convergence et suppose qu'elles existent à plusieurs niveaux hiérarchiques. Plus précisément, ces zones commenceraient par intégrer des informations issues des modalités spécifiques (e.g., vision, audition), puis d'autres zones de convergence de plus haut niveau intègreraient les zones de convergence de plus bas niveau, et ainsi de suite. À la suite d'une multitude de rencontres avec le même objet (e.g., pomme), une très grande multitude d'états vont être capturés. La capture va se dérouler à chaque fois qu'on rencontre un objet, même si c'est le même objet, et s'effectue durant toute la durée de l'interaction. Par exemple, à la suite de l'interaction avec une pomme, selon l'expérience vécue, certaines caractéristiques vont être capturées. En outre, à la suite de l'interaction avec une

pomme dans une autre occasion, une autre capture va s'opérer qui est propre à l'expérience vécue à ce moment-là. Ces rencontres multiples avec un objet vont alors induire l'émergence de deux types possibles de caractéristiques : certaines redondantes ou similaires d'une expérience à l'autre et d'autres différentes d'une expérience à l'autre. Par exemple, la taille peut être considérée comme une caractéristique redondante car elle reste quasiment similaire pour l'ensemble des pommes rencontrées alors que la variété (e.g., Gala, Gloster ou encore Godivert) et la couleur (e.g., vert, rouge, jaune) peuvent être considérées comme des caractéristiques qui peuvent être différentes selon l'expérience vécue avec cet aliment.

1.2. La construction du simulateur

Au fur et à mesure que différents membres d'une même catégorie sont rencontrés (e.g., des pommes), des états neuronaux d'activation similaires se produisent dans les aires sensorielles primaires, au niveau des aires impliquées dans l'émergence d'états moteurs, affectifs, linguistiques, situés, dynamiques et distribués. Par exemple, dans la vie courante, nous rencontrons très souvent des pommes : des galas, des goldens, des granny-smith ou encore des Pink lady. Cela conduit à la formation d'un simulateur (e.g., simulateur d'une pomme) qui est un réseau neuronal plus complexe qui représente toutes nos expériences avec l'objet (e.g., la pomme). Le simulateur intègre toutes les informations des instances d'une catégorie. Au fur et à mesure que la catégorie est apprise, les zones de convergence intègrent des caractéristiques perceptives, motrices, affectives, linguistiques et contextuelles ; ce qui permet l'établissement d'une représentation multimodale d'une catégorie. Les informations visuelles sur l'apparence des pommes (e.g., taille), par exemple, sont intégrées avec des informations olfactives sur leurs odeurs, des informations motrices sur la saisie nécessaire pour les attraper (i.e., saisie puissante), des informations auditives (e.g., la sonorité de la pomme lorsqu'on la croque), des informations affectives (e.g., sensation de plaisir suite à la dégustation de la pomme), des informations linguistiques (e.g., le nom de la pomme et le déterminant habituellement associé) et des informations contextuelles (e.g., les autres éléments présents lors de l'interaction).

Un simulateur n'effectue pas une simulation statique d'une catégorie, il s'agit plutôt d'un générateur de simulations. Les simulateurs possèdent plusieurs caractéristiques. Tout d'abord, ils intègrent des informations multimodales et, en conséquence, ils peuvent permettre de produire des simulations multimodales. En outre, les simulateurs ne produisent généralement pas de simulations globales. Les différents composants des connaissances ne sont pas conservés dans une zone particulière du cerveau mais plutôt dans l'ensemble du cerveau. De plus, les

différentes parties du réseau sont fortement interconnectées. Enfin, le simulateur intègre les informations sur les situations dans lesquelles l'objet est rencontré.

1.3. Le processus de simulation

Les simulations sont des conceptualisations spécifiques des catégories (Barsalou, 2009). Ce processus se déroule en étapes successives. Tout d'abord, à la suite de la perception d'un objet, un état d'activation partiel se produit (e.g., activation d'une partie du réseau cérébral). Ensuite, après cette activation neuronale partielle, un processus de complétion de pattern se produit qui implique l'activation de l'ensemble du réseau. Cela se produit car les différentes parties du réseau sont fortement interconnectées entre elles et donc la simple activation d'une seule partie a pour effet d'activer spontanément toutes les autres parties (i.e., réaction en chaine). Enfin, une production automatique d'inférences s'établit. L'ensemble des caractéristiques de l'objet qui ne sont pas perçues, mais conservées dans le simulateur, sont automatiquement simulées. Ainsi, il se produit un couplage entre la perception (i.e., caractéristiques perçues) et la mémoire (i.e., toutes les autres caractéristiques de l'objet conservées en mémoire). Concrètement, à la suite de la perception visuelle d'une pomme posée sur une table, certaines caractéristiques vont être directement perçues comme la couleur, la taille, la forme alors que d'autres caractéristiques vont être inférées (i.e., simulées) comme les actions associées (e.g., actions de saisie spécifique), le nom (i.e., une pomme), le goût (e.g., acide), l'odeur, la texture et des informations sur la situation.

Il est à noter que dans la perspective incarnée de Barsalou (2008), une simulation ne constitue jamais la récupération complète d'une trace mnésique et diverses sources de biais peuvent souvent fausser les simulations. Ainsi, elles sont toujours partielles et potentiellement inexactes (Barsalou, 2009). Cependant, au moins un semblant de l'état d'origine est rétabli. A la base, ce processus a largement été considéré comme de l'imagerie mentale (Farah, 2000). Cependant, les simulations ne sont pas nécessairement des images mentales conscientes. De plus, les caractéristiques des simulateurs agissent directement sur les caractéristiques des simulations. Comme les simulateurs, les simulations sont multimodales. La simulation d'une pomme par exemple contient non seulement des informations visuelles (e.g., la taille), mais également des informations provenant d'autres modalités pertinentes, telles que l'audition, l'odorat et le toucher. Les simulations intègrent aussi des caractéristiques motrices (e.g., saisie spécifique, atteinte, mastication), émotionnelles (e.g., sensation de plaisir), linguistiques (e.g., des mots qui représentent des noms d'objets) et enfin situées (e.g., informations situationnelles). Cependant, selon le contexte dans lequel l'objet est rencontré, il n'est pas toujours nécessaire

de simuler certaines caractéristiques. Par exemple, à la suite de la perception d'une pomme dans une poubelle, il n'est pas nécessaire de simuler son goût car on ne mange pas habituellement des aliments qui se trouvent dans une poubelle.

De plus, les simulations ne produisent généralement pas de représentations globales. Plus précisément, la théorie classique du traitement conceptuel (Collins & Loftus, 1975) stipule que les connaissances vont intégrer plusieurs instances, ainsi la connaissance qui va émerger est abstraite et va intégrer toutes les informations alors que dans la perspective simulationniste, une simulation est toujours spécifique (Barsalou, 2003). Plutôt que de simuler une pomme très schématique, la simulation d'une pomme est généralement spécifique, telle que la pomme réelle qu'on mange habituellement. Les simulations spécifiques d'une propriété sont organisées dans un ordre de dominance, de sorte que certaines simulations sont plus susceptibles de se produire que d'autres. Par exemple, à la suite de la perception d'une pomme, le simulateur de la pomme va spontanément s'activer et va créer une simulation des caractéristiques qui sont communes à une grande quantité d'expériences avec la pomme (i.e., fréquentes). En effet, il est plus judicieux de simuler des caractéristiques fréquentes de la pomme (i.e., saisie spécifique, goût, nom de l'aliment) car elles sont plus appropriées pour définir l'aliment. De plus, ses caractéristiques ont plus de chance de réapparaitre dans le futur ce qui permet d'avoir une meilleure anticipation.

1.4. L'explication simulationniste de l'effet de potentialisation motrice

Dans le protocole classique démontrant l'effet de potentialisation motrice des gestes de saisies (i.e., Tucker & Ellis, 2001), les participants percevaient une image d'un objet saisissable qui est fortement associée à une saisie puissante (e.g., truelle, pomme) ou à une saisie fine (e.g., vis, fraise). Ils devaient répondre en fonction de la catégorie conceptuelle des objets (i.e., artificiel vs. naturel) avec un dispositif de réponse spécifique permettant de réaliser une saisie puissante ou fine. Les résultats ont montré que les réponses impliquant une saisie puissante étaient plus rapides lorsque les participants ont perçu des objets impliquant habituellement une saisie puissante (e.g., mangue) par rapport à des objets impliquant habituellement une saisie fine (e.g., clé). À l'inverse, les réponses impliquant une saisie fine étaient plus rapides lorsque les participants ont perçu des objets impliquant habituellement une saisie fine (e.g., fraise) par rapport à des objets impliquant habituellement une saisie puissante (e.g., pomme).

Selon la perspective simulationniste (Barsalou, 2008), pour accéder à la connaissance (i.e., le concept de l'objet), il est essentiel de simuler les caractéristiques d'expériences antérieures associées à l'objet, à la personne ou à l'événement représenté, en particulier en

utilisant des processus sensori-moteurs. L'explication simulationniste de l'effet de potentialisation motrice est en conséquence la suivante : à la suite de la perception d'une pomme par exemple, un état d'activation partiel se produit impliquant une activation de certaines parties du réseau cérébral qui traitent les caractéristiques perçues (i.e., la taille, la couleur, la forme). Ensuite, grâce au processus de complétion de pattern, l'ensemble du réseau s'active (i.e., toutes les parties du réseau cérébral qui intègrent l'expérience associée à la pomme). Enfin, une production automatique d'inférences s'établit (i.e., simulation sensorimotrice). Les caractéristiques de la pomme qui ne sont pas perçues, mais conservées dans le simulateur comme la saisie spécifique de la pomme (e.g., saisie puissante) sont automatiquement simulées. Donc à la suite de la perception d'une pomme, une simulation sensorimotrice va s'effectuer automatiquement et va simuler une saisie puissante d'une manière non intentionnelle. Ainsi, si l'action à réaliser (i.e., une saisie puissante) est compatible avec l'action simulée, un effet de facilitation se produit (i.e., effet de potentialisation motrice). Concrètement, l'effet de potentialisation est une différence de temps de réponse entre une condition de compatibilité où l'action simulée (e.g., une saisie puissante) correspond à l'action réalisée (e.g., une saisie puissante) et une condition de non-compatibilité où l'action simulée (e.g., une saisie puissante) ne correspond pas à l'action réalisée (i.e., une saisie fine). Selon cette approche, le traitement visuel des objets comprend non seulement un traitement de leurs propriétés visuelles (e.g., taille, couleur, forme), mais aussi une simulation d'actions pertinentes pour interagir avec l'objet.

2. Le codage des stimuli et des réponses

Dans cette approche, l'effet de potentialisation motrice est considéré comme un effet de compatibilité stimulus-réponse découlant d'un processus de codage. Cependant, il n'existe pas de théories unifiées mais plusieurs théories différentes pouvant expliquer cet effet. Nous allons dans un premier temps développer l'approche par codage de polarité (Proctor & Cho, 2006) et l'approche par codage de taille (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015 ; Heurley et al., 2020), qui sont les principales sous-théories de codage en mesure d'expliquer l'effet de potentialisation. Ensuite, nous allons développer les autres théories de codage : la théorie de discrimination des réponses (Ansorge & Wühr, 2004) et la théorie du codage des événements (Hommel et al., 2001). Enfin, nous allons présenter l'ensemble des théories spécifiques qui pourraient permettre l'explication de cet effet de potentialisation (i.e., simulationniste vs. codage) et par la même occasion distinguer entre les deux sous-théories principales de codage (l'approche par codage de polarité vs. l'approche par codage de taille).

2.1. L'approche par codage de polarité

La théorie de correspondance de polarité défend l'idée que les effets de compatibilité stimulus-réponse dépendent d'une compatibilité de codes de polarité associés au stimulus d'une part et aux réponses d'autre part. Les différences de performances entre les différents couplages stimuli-réponses sont parmi les constatations les plus courantes pour les tâches de réaction de choix binaire. Proctor et Cho (2006) ont examiné différents effets de compatibilité stimulus-réponse, notamment les effets entre des stimuli perceptifs et des réponses (e.g., effet Simon ; Kornblum, 1991), des stimuli linguistiques et des réponses (e.g., effets orthogonaux ; Weeks & Proctor, 1990), des stimuli numériques et des réponses (e.g., effet SNARC ; Dehaene et al., 1993), ou encore ceux présents dans les tests d'association implicite (Rothermund & Wentura, 2004). Une similitude perceptive entre les stimuli et les réponses peut émerger à la suite de leur position dans l'espace ; par exemple, si un stimulus apparait à droite et que la réponse est effectuée à droite. Cette similitude perceptuelle peut aussi dépendre de la taille : par exemple lorsqu'on voit un grand chiffre à l'écran comme stimulus et qu'on doit répondre avec un grand dispositif. Selon Kornblum (1991), les effets de compatibilité stimulus-réponse de type Simon se produisent pour les ensembles de stimuli et de réponses qui ont un chevauchement dimensionnel, défini comme une similitude perceptuelle (physique) ou conceptuelle, que les dimensions soient spatiales ou non. Proctor et Cho (2006) ont suggéré qu'il n'est pas nécessaire que les stimuli et les réponses partagent une similitude perceptive ou conceptuelle pour obtenir un effet de compatibilité. Une similitude structurelle semble suffisante. En effet, ils ont suggéré qu'une similitude structurelle entre le stimulus et la réponse peut être éventuellement causée par l'ordre : par exemple, si on utilise un stimulus qui est « ordinalement » vers la fin (e.g., lettre « Z ») et une réponse avec une connotation qui stipule qu'elle est vers la fin, un lien structurel entre le stimulus et la réponse peut émerger. En outre, même en l'absence de lien de similitude entre les propriétés du stimulus et celles de la réponse, l'effet de compatibilité stimulus-réponse peut émerger.

Dans la continuité, Proctor et Cho (2006) ont établi un modèle basé sur un système de codage de polarité. Ce modèle stipule que si les stimuli et les réponses diffèrent selon leur dimension perceptive, conceptuelle ou même structurelle cela peut permettre un codage « de polarité ». Cette approche stipule que dans une tâche à choix binaire dans laquelle le participant doit choisir entre deux réponses en fonction de différents stimuli, un codage par polarité peut s'opérer dans certaines conditions à la suite de deux mécanismes (i.e., le codage de polarité des stimuli et des réponses et leur correspondance de polarité). Nous allons rendre compte de l'effet

de potentialisation de saisie à l'aide de l'approche par codage de polarité. Pour cela, nous allons proposer un protocole éventuel, en guise d'exemple, dans lequel on prend deux images d'objets saisissables (i.e., pomme vs. fraise) présentés dans leurs tailles visuelles réelles et deux types de réponses (i.e., saisie puissante vs. fine). Dans ce protocole, lors de chaque essai les participants perçoivent sur un écran d'ordinateur une image d'un objet saisissable (i.e., pomme ou fraise) en gris pendant 400 ms. Ensuite l'image de l'objet se colorie en bleu ou en orange. C'est à ce moment-là que le participant répond avec une saisie puissante ou fine en fonction de la variation de la couleur.

Dans le cadre d'une approche par codage de polarité, un premier mécanisme de codage de polarité des stimuli et des réponses se met en place : étant donné que les objets saisissables utilisés différent selon la dimension perceptive, un code de polarité positif "+" peut être attribué à l'image de la pomme (i.e., grande) et un code de polarité négatif "-" peut être attribué à l'image de la fraise (i.e., petite). De la même manière, étant donné que la réponse de saisie puissante est structurellement plus grande que la réponse de saisie fine, cela représente une variation des réponses selon la dimension perceptive. Ainsi, un code de polarité positif "+" peut être attribué à la réponse de saisie puissante et un code de polarité négatif "-" peut être attribué à la réponse de saisie fine. Ensuite, un deuxième mécanisme de correspondance de polarité peut se mettre en place. Par exemple, lorsque le participant perçoit l'image d'une pomme et doit répondre avec une saisie puissante, il y'a une correspondance de polarité (i.e., + +) entre le code de polarité attribué à l'image de la pomme et le code de polarité attribué à la réponse de saisie puissante, ce qui produit un effet de potentialisation motrice. Suivant le même raisonnement, lorsque le participant perçoit l'image d'une fraise et répond avec une saisie fine, il y'a une correspondance de polarité (i.e., - -) entre le code de polarité attribué à l'image de la fraise et le code de polarité attribué à la réponse de saisie fine, ce qui produit aussi un effet de potentialisation. Alors que lorsque le participant perçoit l'image d'une pomme et doit répondre avec une saisie fine ou encore lorsqu'il perçoit l'image d'une fraise et répond avec une saisie puissante, il n'y a pas de correspondance de polarité (i.e., + - ; - +) entre le code de polarité attribué à l'image de l'objet et le code polarité attribué à la réponse, ce qui ne permet pas la production d'un effet de potentialisation. Donc, selon cette approche, la correspondance n'est pas au niveau des dimensions ou des propriétés mais au niveau des polarités.

2.2. L'approche par codage de taille

Cette hypothèse suppose que l'effet de potentialisation serait dû à une compatibilité/incompatibilité entre les codes de taille associés aux stimuli et aux réponses plutôt qu'à une simulation de l'action habituelle associée aux objets présentés. Miles et Proctor (2014) et Masson (2015) suggèrent qu'un objet associé à une saisie puissante peut induire automatiquement l'activation d'un code de grande taille, du fait de sa grande taille visuelle. De la même manière, un objet associé à une saisie fine peut induire automatiquement l'activation d'un code de petite taille, du fait de sa petite taille visuelle. Le même raisonnement est valable pour la réponse elle-même, car les réponses de saisie fine sont généralement effectuées sur un petit dispositif alors que les réponses de saisie puissante sont généralement effectuées sur un grand dispositif. Cette différence de taille des dispositifs peut favoriser le codage des réponses. En effet, le grand dispositif peut induire l'activation d'un code de grande taille alors que le petit dispositif peut induire automatiquement l'activation d'un code de petite taille. Ainsi, cette hypothèse alternative de codage suppose que l'effet de potentialisation serait dû à une compatibilité/incompatibilité entre les codes de taille associés aux stimuli et aux réponses plutôt qu'à une simulation de l'action habituelle associée aux objets présentés.

Heurley et al. (2020) ont mené une série d'expériences pour tester si l'effet de potentialisation résultait d'une simulation motrice automatique induite par la perception d'objets manipulables ou d'un chevauchement des codes de taille utilisés pour représenter à la fois les objets manipulables et les options de réponse. Dans leur première expérience, un dispositif de réponse similaire à celui utilisé à l'origine par Ellis et Tucker (2000) était fixé horizontalement (voir Figure 3). Les participants devaient appuyer sur un grand interrupteur avec la paume de leur main tandis qu'ils devaient appuyer sur un petit interrupteur avec leur index en fonction du changement de couleur (i.e., bleu vs. orange) des stimuli (e.g., pomme, banane, cerise, fraise). Conformément à l'hypothèse de codage de taille, les réponses des participants avec le petit interrupteur étaient plus rapides lorsque des petits objets (i.e., généralement associés à une saisie fine) étaient présentés alors que les réponses avec le grand interrupteur étaient plus rapides en réponse à des grands objets (généralement associés à une saisie de puissance). Ce résultat a été interprété conformément à l'hypothèse de codage de taille. En effet, les auteurs suggèrent que les grands objets généralement associés à une saisie puissante et les petits objets généralement associés à une saisie fine peuvent potentialiser des réponses manuelles n'impliquant pas de saisie mais qui sont codées respectivement comme grandes et petites.

Dans leur deuxième, troisième et quatrième expérience, les auteurs ont voulu aller plus loin pour savoir plus directement si le codage de la taille des réponses dépend principalement de la taille des interrupteurs ou de la taille des parties effectrices utilisées. Par conséquent, dans leur deuxième expérience, ils ont demandé aux participants d'appuyer sur le petit interrupteur avec leur index et sur le grand interrupteur avec leur pouce alors que dans leur troisième expérience les participants devaient appuyer sur le petit interrupteur avec leur pouce et sur le grand interrupteur avec leur index. Les résultats de leur deuxième et troisième expérience ont indiqué un effet de potentialisation motrice. Cela indique que l'effet de potentialisation est modulé par la taille des interrupteurs (i.e., taille des boutons de réponse) et non par la taille des parties effectrices. En revanche, aucun effet de potentialisation statistiquement significatif n'a été obtenu dans la quatrième expérience, lorsque les participants devaient répondre avec la paume de la main et avec l'index sur deux touches d'un clavier d'ordinateur AZERTY (i.e., S et L). Ainsi, lorsque les deux réponses ne différaient qu'en fonction de la taille de l'effecteur, l'effet de potentialisation n'était pas induit. Ces études suggèrent donc la possibilité que la potentialisation de la saisie soit due à une compatibilité / incompatibilité entre des codes de taille plutôt qu'à des simulations motrices des comportements de saisie habituellement effectués.

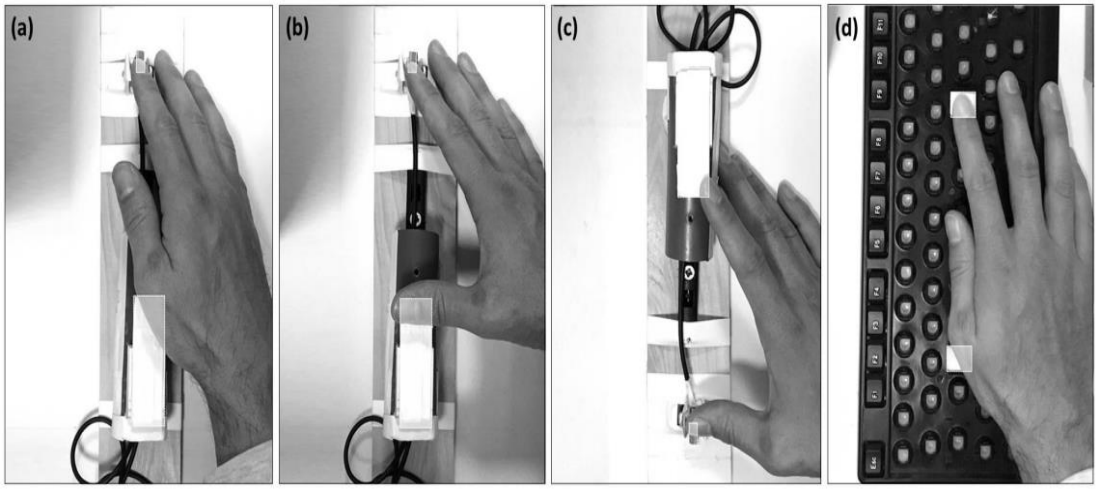


Figure 3. Les dispositifs de réponses utilisés par Heurley et al. 2020.

Expérience 1 (a) ; Expérience 2 (b) ; Expérience 3 (c) ; Expérience 4 (d).

Cependant, l'étude de Heurley et al. (2020) peut très bien être interprétée avec une autre perspective de codage qui est celle de l'hypothèse de codage par polarité. En effet, les images

(stimuli) utilisées dans leurs études sont soit des grands fruits et légumes (e.g., pomme, avocat, banane, poire) soit des petits fruits et légumes (e.g., cerise, raisin, fraise, noisette) présentés dans une taille visuelle similaire à leur taille réelle. Par conséquent, les images qui représentent des grands fruits ou légumes (e.g., pomme) étaient visuellement plus grandes que celles représentant des petits fruits ou légumes (e.g., fraise). De cette façon, puisque les stimuli diffèrent selon la dimension perceptive, un mécanisme de codage de polarité des stimuli pourrait se mettre en place. Un code de polarité positif « + » peut être attribué aux images qui représentent des grands fruits et légumes alors qu'un code de polarité négatif « - » peut être attribué aux images qui représentent des petits fruits et légumes. Le même raisonnement peut être appliqué aux réponses. En effet, le dispositif utilisé dans leurs première, deuxième et troisième expérience comporte deux boutons qui diffèrent également selon la dimension perceptive (i.e., un grand bouton vs. un petit bouton). Ainsi, un code de polarité « + » peut être attribué au grand bouton alors qu'un code de polarité négatif « - » peut être attribué au petit bouton. De cette manière, s'il y a une correspondance de polarité entre les stimuli et les réponses (i.e., ++ ou --), un effet de potentialisation se produit. Alors que dans leur quatrième expérience, les deux touches de clavier utilisées (i.e., S et L) ne différant pas selon la dimension perceptive, le mécanisme de codage de polarité ne s'applique pas aux réponses et donc ne permet pas la production d'un effet de potentialisation motrice.

2.3. La théorie de discrimination de réponse

Cette théorie est moins formalisée que les deux précédentes. Elle se focalise spécifiquement sur le codage des réponses alors que les deux théories précédentes spécifient à la fois le codage des stimuli et des réponses. La théorie de la discrimination des réponses stipule que le codage des réponses implique la nécessité d'avoir deux réponses à comparer pour que les stimuli et les réponses soient potentiellement codés selon la même dimension. L'effet Simon est un effet de compatibilité stimuli-réponse où les réponses sont réalisées plus rapidement et d'une manière plus précise lorsque le stimulus est présenté dans la même position relative que la réponse. Dans ce cadre, Ansorge et Wühr (2004) ont utilisé deux tâches différentes, la version classique de l'effet Simon et la version go/no-go. Dans la version classique, les participants avaient le choix entre deux réponses, ils devaient appuyer sur une touche du clavier (i.e., 1 ou 3) en fonction du changement de couleur des stimuli (e.g., bleu vs rouge). Alors que dans la version go-no-go, les participants avaient une seule réponse possible, ils devaient répondre sur une seule touche du clavier (i.e., 5) si le stimulus se colorait en bleu et s'abstenir de répondre si le stimulus se colorait en rouge. Dans leur première expérience, Ansorge et Wühr (2004) ont pu reproduire

l'effet Simon lorsqu'il y avait deux réponses à effectuer. En revanche, dans leur deuxième expérience, lorsqu'il n'y avait plus qu'une seule réponse (i.e., version go/no go), l'effet disparait. Ansorge et Wühr (2004) se sont appuyés sur ce résultat afin de défendre la nécessité d'avoir deux choix de réponses pour obtenir l'effet Simon.

Il est intéressant de noter que l'effet Simon apparait de nouveau lorsque la tâche go/no-go est précédée par une tâche avec deux réponses, suggérant que la mémoire des réponses alternatives permet le codage des réponses, ce qui induit un effet de compatibilité. Dans la première expérience d'Ansorge et Wühr (2004), les participants avaient le choix entre deux réponses : une à gauche et une à droite. C'est pour cela que les participants ont pu discriminer une réponse par rapport à l'autre. Alors que dans la version go/no-go il n'y avait qu'une seule réponse disponible ce qui ne permet pas la discrimination de la position spatiale d'une réponse par rapport à une autre. Vraisemblablement, l'occurrence de l'effet Simon dépend de la façon dont les réponses sont représentées. Par conséquent, la nécessité de distinguer des réponses fonctionnellement alternatives apparaît comme un déterminant majeur pour la sélection des codes spatiaux utilisés pour les représentations des réponses afin que l'effet Simon émerge. Cette théorie complète les autres théories de codage en stipulant qu'il faut obligatoirement deux réponses pour que le codage des réponses s'opère ce qui n'a pas été explicitement expliqué par les autres perspectives de codage.

Les résultats de Pecher et al. (2019) sont cohérents avec cette hypothèse. Ils ont comparé une tâche qui comporte deux alternatives de réponses (i.e., saisie puissante vs. saisie fine), à une tâche go/no-go qui comporte une seule alternative de réponse (i.e., saisie puissante). (Voir Figure 4). Les auteurs réalisent une série de trois expériences. Chacune d'entre elles comportait les deux types de tâches. Ainsi, toutes les expériences commençaient par une tâche go/no-go (i.e., une seule alternative de réponse) suivie de la tâche qui comportait deux alternatives de réponses. Dans leur première expérience, les participants étaient assis devant un écran d'ordinateur et devaient prendre des décisions en fonction des couleurs (i.e., bleu vs rouge) des images présentées (i.e., grands objets naturels, petits objets naturels, grands objets artificiels, petits objets artificiels). Chaque essai commençait par une croix de fixation présentée au centre de l'écran. La croix de fixation restait affichée à l'écran jusqu'à ce que le participant presse sur la touche « B » du clavier et maintient la pression sur cette même touche. Après un délai de 250 ms l'image de l'objet apparaissait en gris au centre de l'écran. Ensuite, après un délai de 200 ms l'image en gris est remplacée par une version rouge ou bleue de la même image. C'est dans cette phase que le participant devait répondre avec une tâche go/no-go. Plus précisément, le participant devait répondre au changement de couleur de l'image soit en relâchant la touche

« B » du clavier suivi de la saisie du cylindre (i.e., condition go) soit en maintenant la touche « B » du clavier (i.e., condition no-go). Ensuite, lorsque le participant relâche la pression sur la touche « B » du clavier ou après un délai de 1500 ms, l'image était remplacée par un écran avec un fond blanc. Enfin, après 152 essais avec la tâche go/no-go, le participant effectuait 152 essais supplémentaires avec la tâche qui comporte deux alternatives de réponses en suivant la même procédure. Pour la tâche qui comporte deux alternatives de réponse, le participant devait maintenir la touche « B » du clavier puis répondre par une saisie puissante ou fine avec l'un des deux cylindres mis à sa disposition à la suite du changement de couleur (Voir Figure 4). Leur deuxième expérience avait la même procédure que leur première expérience mis à part que la tâche de discrimination chromatique était remplacée par une tâche de catégorisation sémantique (i.e., artificiel vs. naturel). Leur troisième expérience avait la même procédure que la précédente, mis à part que les images d'objets étaient remplacées par des noms qui font référence aux mêmes objets. Dans les trois expériences, les résultats ont montré que dans la tâche à deux choix, les réponses de saisie étaient facilitées lorsque la saisie était compatible avec le stimulus par rapport au moment où elle était incompatible avec le stimulus. En revanche, aucun effet de compatibilité de saisie n'a été obtenu avec la tâche go / no-go. Ces résultats ont révélé que l'effet de compatibilité de saisie a été obtenu uniquement lors de l'utilisation d'une tâche qui comporte deux alternatives de réponses, ce qui est en accord avec la théorie de discrimination de réponse qui stipule la nécessité d'avoir deux réponses à comparer pour que les stimuli et les réponses soient potentiellement codés selon la même dimension.

En effet, selon une approche par codage de taille, lorsque les participants devaient choisir entre deux réponses (i.e., grande réponse vs. petite réponse), la taille de saisie devenait pertinente pour les stimuli, ainsi les correspondances de code de taille entre les stimuli et les réponses affectaient les temps de réponses. Cependant, lorsque les participants devaient choisir entre une réponse de saisie et aucune réponse, la taille de saisie n'était plus pertinente pour les stimuli et la taille des stimuli n'affectait pas les temps de réponses. Ces résultats concordent avec l'idée selon laquelle les effets de compatibilité de saisie découlent de la correspondance entre des codes abstraits associés aux stimuli et réponses (Cho & Proctor, 2010 ; Proctor & Miles, 2014).

Par ailleurs, selon une approche par codage de polarité, lorsque le participant devait choisir entre deux réponses, le mécanisme de codage de polarité des réponses pouvait se mettre en place permettant au deuxième mécanisme de correspondance de polarité de se produire dans certaines situations, ce qui pouvait générer un effet de potentialisation. Cependant, lorsque les participants devaient choisir entre une réponse de saisie et aucune réponse, le mécanisme de

codage de polarité ne peut pas se mettre en place, ce qui empêche le deuxième mécanisme de correspondance de polarité et par la même occasion l'effet de potentialisation de se produire.

Pris ensemble, ces résultats supportent le fait, que les effets de compatibilités de saisie peuvent être expliqués par une perspective de codage basée sur la taille des stimuli et des réponses, plutôt que par l'activation automatique d'une action motrice lors de la perception des objets comme le suggère l'approche simulationniste.



Figure 4. Dispositif de réponse de Pecher et al. (2019). Configuration go / no-go et configuration avec deux choix de réponses.

2.4. La théorie de codage des événements

La théorie de codage des événements d'Hommel et al. (2001) se base sur un processus de codage qui pourrait éventuellement expliquer l'effet de compatibilité stimulus-réponse avec une approche différente à celle des autres théories. Cette théorie est basée sur la notion centrale selon laquelle la perception, l'attention, l'intention et l'action partagent ou opèrent dans un domaine de représentations commun. Pour construire cette théorie, Hommel et al. (2001) se sont plus particulièrement appuyés sur des positions théoriques qui mettent l'accent sur un lien particulier entre la perception et la planification de l'action comme celles de Dewey (1896) ou Gibson (1979) où la perception et l'action sont fonctionnellement liées et où seule leur coordination permet un comportement adaptatif. Hommel et al. (2001) ont aussi adopté la notion de contrôle anticipatif de l'action avancée par Greenwald (1970), James (1890) et Lotze (1852). Enfin, ils ont suivi l'idée d'Allport (1987) et de Singer (1994) concernant la nature composite et distribuée des représentations perceptives et des plans d'action.

Ainsi, la théorie du codage d'évènements peut être considérée comme une métathéorie de la perception et de la planification des actions. Contrairement à la vision classique du traitement de l'information, la théorie du codage des évènements ne considère pas la perception et la planification d'actions comme des étapes différentes et fonctionnellement séparables (i.e., modules), mais comme des processus intimement liés, parfois même indiscernables, produisant une grande variété d'interactions. Fondamentalement, la théorie soutient que les représentations cognitives des événements servent non seulement des fonctions de représentation (e.g., la perception, l'imagerie, la mémoire, le raisonnement), mais aussi des fonctions liées à l'action (e.g., la planification et l'initiation d'actions). Cela suppose que les représentations des stimuli et des réponses sont codées dans un format commun de représentation. Une spécificité importante de cette théorie réside dans le codage des réponses qui découle du codage des conséquences perceptives des réponses.

Elsner et Hommel (2001) ont étudié les effets de compatibilité réponse-effet et non les effets de compatibilité stimuli-réponse. Cependant, même si dans le cadre de cette thèse nos expériences s'inscrivent uniquement dans un paradigme stimulus-réponse, nous exposerons ci-dessous cette étude car elle se base sur une perspective intéressante qui aborde un autre type de facilitation généré par une phase d'apprentissage antérieur. En effet, Elsner et Hommel (2001) ont obtenu des preuves de l'intégration automatique de la conséquence de l'action et de l'amorçage automatique de la réponse par le biais d'effets d'actions apprises. Leur expérience commençait par une phase d'apprentissage dans laquelle les participants devaient appuyer sur

une touche située à gauche du clavier (i.e., A) qui déclenche une tonalité aiguë ou sur une touche située à droite du clavier (i.e., P) qui déclenche une tonalité grave. Après cette phase d'apprentissage, il y a eu la phase test dans laquelle, l'une des deux tonalités (i.e., aiguë ou grave) était présentée comme un stimulus et les participants devaient répondre à ce stimulus aussi rapidement et correctement que possible. Cependant, ils ont été répartis au hasard en deux groupes. Pour le premier groupe, dit « congruent », la consigne était d'appuyer sur la touche « A » du clavier si la tonalité du stimulus était aigüe et d'appuyer sur la touche « P » du clavier si la tonalité était grave, ce qui correspond au couplage réponse/son appris lors de l'apprentissage. Pour le second groupe, dit « non-congruent », la consigne était d'appuyer sur la touche « P » du clavier si la tonalité du stimulus était aiguë et d'appuyer sur la touche « A » du clavier si la tonalité était grave, ce qui correspond à un couplage réponse/son opposé à celui de l'apprentissage. Les résultats ont montré des réponses plus rapides pour le groupe congruent comparé à celui non-congruent. Ce résultat suggère que l'association entre la réponse et le son (i.e., conséquences perceptives), acquise lors de la phase d'apprentissage, soit intégrée dans un domaine de représentation commun. Différents processus cognitifs permettent le couplage de l'action (i.e., touche A vs. Touche P) et ses conséquences perceptives (i.e., son aigue vs. grave). Ainsi, lorsqu'un individu pense aux conséquences de l'action, cela réactive l'action d'une manière spontanée. En conséquence, ce n'est pas l'action en elle-même qui va être codée, mais plutôt la nature perceptive des conséquences de l'action. Ainsi, le codage d'évènements permet l'intégration des réponses et de leurs conséquences d'une manière automatique et l'obtention d'effet de facilitation (i.e., effet de compatibilité réponse-effet).

2.5. D'une approche simulationniste à une approche par codage

A la suite de notre revue de littérature initiale, il est clair qu'il existe sur le plan théorique un débat important concernant l'explication de l'effet de potentialisation motrice. Plus précisément, ce débat s'articule autour des processus cognitifs responsables de la production de cet effet de potentialisation. Dans ce cadre, l'opposition théorique principale se situe entre l'approche simulationniste et l'approche par codage. L'approche simulationniste implique d'une manière directe la mémoire et les connaissances accumulées par une personne au fil du temps. Globalement, cet approche stipule, qu'à la suite de la perception d'un objet, une simulation sensorimotrice s'établit d'une manière automatique et permet la récupération de toutes les caractéristiques de l'objet qui ne sont pas perçues mais qui sont stockées dans la mémoire. Cette simulation permet, entre autres, la récupération de la saisie spécifique de l'objet

qui sera amorcée dans le cerveau. Par la suite, si la personne effectue la même saisie qui est amorcée, cette dernière sera facilitée (i.e., effet de potentialisation).

En revanche, la deuxième approche par codage stipule que l'effet de potentialisation se produit par le biais d'une compatibilité de code abstrait sans forcément faire appel à la mémoire, contrairement à l'approche simulationniste. Globalement, elle suggère que dans un premier temps des codes peuvent être attribués aux objets et aux réponses. Dans un deuxième moment, s'il y'a une compatibilité de codes entre les stimuli et les réponses, un effet de potentialisation peut se produire. Néanmoins, l'approche par codage est composée de deux principales sous-théories (i.e., approche par de codage de taille ; approche par codage de polarité) qui ne font pas appel au même processus. L'approche par codage de taille se produit uniquement s'il réside une différence de taille visuelle entre les stimuli et les réponses. Plus précisément, s'il y a une différence de taille visuelle entre les stimuli utilisés, les grands stimuli peuvent automatiquement activer un code de grande taille, alors que les petits stimuli peuvent activer un code de petite taille. De la même manière, s'il y'a une différence de taille visuelle entre deux dispositifs de réponses, le grand dispositif peut automatiquement activer un code de grande taille, alors que le petit dispositif peut activer un code de petite taille. Ainsi, s'il y'a une compatibilité de code de taille entre les stimuli et les réponses un effet de potentialisation pourrait se produire.

Cependant, l'approche par codage de polarité est plus large et stipule que les stimuli et les réponses peuvent être codés s'ils diffèrent par rapport à une dimension perceptive, structurelle ou même conceptuelle. En outre, cette deuxième sous-théorie de codage utilise un processus basé sur des codes de polarité (i.e., positif « + » vs. négatif « - ») et non sur des codes de taille (i.e., code grande taille vs. code petite taille). Ainsi, si par exemple les stimuli diffèrent par rapport à la dimension perceptuelle, un code de polarité « + » peut être attribué aux grands stimuli et un code de polarité négatif « - » peut être attribué aux petits stimuli. De la même manière, si par exemple les réponses diffèrent par rapport à la dimension perceptuelle un code de polarité « + » peut être attribué à la grande réponse et un code polarité négatif « - » peut être attribué à la petite réponse. Ainsi, s'il y a une compatibilité de code de polarité entre les stimuli et les réponses un effet de potentialisation pourrait se produire.

Globalement, l'approche par codage de polarité peut prédire tout ce que prédit l'approche par codage de taille, la différence entre ces deux théories réside dans le fait que l'approche par codage de polarité défend l'idée qu'il pourrait y avoir des effets de compatibilité entre les stimuli et les réponses qui ne sont pas codés selon les mêmes dimensions (e.g., dimension conceptuelle/dimension perceptive) ou selon les mêmes caractéristiques perceptives.

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes approches théoriques de l'effet de potentialisation. Après avoir détaillé l'approche simulationniste, nous avons présenté une explication simulationniste de l'effet de potentialisation qui suggère le rôle crucial de la mémoire dans l'émergence de l'effet. Nous avons également détaillé les deux principales théories de codage : l'approche par codage de taille et l'approche par codage de polarité, qui expliquent toutes deux l'effet via à une compatibilité de codes abstraits sans nécessairement faire appel à un processus de simulation motrice. Nous avons également présenté la théorie de discrimination de réponses qui stipule la nécessité d'avoir deux réponses à comparer pour que les stimuli et les réponses soient codés selon la même dimension. Cela suggère que ce critère doit être respecté pour pouvoir tester les approches de codage.

LES APPROCHES EXPÉRIMENTALES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION MOTRICE

III. LES APPROCHES EXPÉRIMENTALES DE L'EFFET DE POTENTIALISATION

Dans la section précédente, nous avons détaillé les approches théoriques de l'effet de potentialisation motrice (simulation motrice vs. codage). L'approche simulationniste fait intervenir la mémoire (i.e., connaissance) et stipule que l'accès au concept d'un objet saisissable implique une simulation motrice de l'action associée à cet objet. L'approche par codage se base sur une compatibilité de code entre les stimuli et les réponses sans forcément faire appel à la mémoire. Dans cette section nous allons discuter des différents résultats expérimentaux qui permettent de soutenir ces deux approches afin de les comparer et de les mettre à l'épreuve.

1. Les travaux princeps et le débat dorso-ventral

Plusieurs études soutiennent l'idée selon laquelle la base de la représentation d'objets visuels dans le cerveau est le fruit d'un couplage entre des réponses visuelles et des réponses liées à l'action (Tucker & Ellis, 1998, 2001). Les auteurs ont ainsi inventé le terme "micro-affordances" afin de capturer cette idée. Dans ce cadre, la littérature fait systématiquement appel à un effet de potentialisation des comportements de saisie bien établi. Il a été découvert pour la première fois par Ellis et Tucker (2000). Dans cette étude, les auteurs présentaient aux participants des objets réels manipulables qui nécessitent généralement une saisie fine (e.g., une fraise, un clou) ou puissante (e.g., une pomme, une bouteille). Après un court délai, un son aigu ou grave retentissait et les participants devaient simplement les catégoriser comme aigu ou grave. Ils devaient répondre en se servant d'un dispositif de réponse particulier composé d'un petit bouton maintenu entre le pouce et l'index (i.e., imitant une saisie fine) et un gros bouton maintenu entre les trois doigts restants et la paume (i.e., imitant une saisie puissante). Les résultats montraient des temps de réponse plus courts lorsque les participants devaient effectuer une saisie compatible (e.g., une saisie fine pour une cerise) par rapport à une saisie incompatible (e.g., une saisie fine pour une pomme). Selon les auteurs cet effet de facilitation (i.e., effet de potentialisation) était dû à des micro-affordances.

Par la suite, Ellis et Tucker (2000) commençaient à débattre par rapport à la partie cérébrale (i.e., voie dorsale vs. voie ventrale) spécifique responsable de cet effet de potentialisation. La voie dorsale s'étend du cortex visuel primaire au cortex pariétal postérieur. Cette voie est impliquée dans le traitement des aspects spatiaux des objets. Alors que la voie ventrale, qui s'étend du cortex visuel primaire au lobe temporel, est impliquée dans la reconnaissance des objets (Tucker & Ellis, 2001). Des preuves neuropsychologiques

soutiennent le rôle respectif de ces deux voies. En effet, des lésions dans le lobe temporel sont associées aux problèmes de reconnaissance des objets, tandis que le dommage du cortex pariétal postérieur est associé à des altérations du traitement spatial, telles que la négligence visuelle et l'ataxie optique. Donc, finalement, la voie dorsale implique purement des processus visuels alors que la voie ventrale implique également une influence de la mémoire. Gibson (1979) a inventé le terme d'affordances. D'après lui, les affordances n'impliquent pas d'accès conceptuel en mémoire mais elles seraient plutôt directement extraites du flux visuel. Ainsi, les affordances seraient uniquement de nature perceptive. Ce dernier constat, a permis à Ellis et Tucker (2000) de suggérer que c'est la voie dorsale (i.e., influence de la vision) qui supporte l'effet de potentialisation plutôt que la voie ventrale (i.e., mémoire).

Suivant cette logique, Tucker et Ellis (2001) montraient que certaines transformations visuomotrices peuvent se dérouler automatiquement. Dans leurs premières expériences, ils demandaient aux participants de catégoriser des objets (i.e., naturel vs. artificiel) en utilisant un dispositif de réponse à deux boutons (i.e. saisie puissante vs. saisie fine) similaire à celui utilisé dans l'étude d'Ellis et Tucker (2000). Chaque essai commençait par deux signaux lumineux qui, une fois éteints, laissaient apparaitre un objet à l'écran. C'est à ce moment-là que les participants devaient répondre à l'aide du dispositif de réponse le plus rapidement possible. Les résultats de cette première expérience montraient que les réponses étaient plus rapides si le type de saisie évoqué par l'objet était compatible avec le type de saisie de la réponse (i.e., effet de potentialisation motrice). En d'autres termes, la simple visualisation d'un objet conduisait à la potentialisation d'une réponse motrice compatible en fonction des propriétés de l'objet qui ne sont pas pertinentes pour la tâche.

Dans leur deuxième expérience, Tucker et Ellis (2001) utilisaient un paradigme go/no-go dans lequel la catégorie d'objets (i.e., naturel ou artificiel) détermine si une réponse devait être exécutée ou retenue. Les participants étaient informés de la réponse à effectuer (saisie puissante vs. saisie fine) 500 ms avant de voir l'objet qui était accompagné d'un signal sonore (aigue vs. grave). Dans ce cas de figure, aucun effet de potentialisation n'était signalé ce qui est conforme avec l'étude de Ansorge et Wühr (2004) qui n'ont pas obtenu d'effet avec la tâche go/no-go. Visiblement, étant donné que la sélection de la réponse s'effectuait 500 ms avant la perception de l'objet, il est probable que l'activité motrice préparatoire était suffisante, annulant toute activation ultérieure du système moteur par l'objet perçu visuellement. En outre, l'absence d'effet de potentialisation avec la préparation de la réponse qui s'effectuait avant la perception de l'objet renforce l'idée que cet effet de potentialisation est basé sur l'activation réelle du

système moteur. Ensuite, ces chercheurs ont réalisé une troisième expérience qui était similaire à leur deuxième expérience mis à part que cette fois l'objet était présenté 300 ms avant le signal sonore de la réponse et a été maintenu jusqu'à l'exécution de la réponse. Cette troisième expérience reproduit l'effet de potentialisation obtenu dans leur première expérience. Ainsi, en prenant en compte les résultats de la deuxième expérience, les données indiquaient qu'une des conditions pour l'apparition de l'effet de compatibilité saisie/objet est que le système moteur ne soit pas déjà amorcé pour une réponse particulière.

Par la suite, Tucker et Ellis (2001) ont réalisé deux autres expériences qui sont globalement similaires à leur troisième expérience mais cette fois l'objet disparaissait avant la réponse des participants. Dans leur quatrième expérience un objet était présenté pendant 300 ms puis il disparaissait avant la réponse des participants. Si les effets de compatibilités observés précédemment étaient uniquement tributaires du traitement visuomoteur de la voie dorsale, l'effet de potentialisation ne devrait plus se produire à la suite de la disparition de l'objet. Les résultats de cette quatrième expérience indiquaient la présence d'un effet de compatibilité alors que l'objet n'était plus perceptible par le participant au moment de la réponse. Ce dernier résultat est très intéressant, car il suggérait que l'effet de potentialisation n'est pas uniquement tributaire de la vision (i.e., voie dorsale) mais peut probablement impliquer la mémoire (i.e., voie ventrale). À la suite de ce résultat, Tucker et Ellis (2001) ont réalisé une cinquième expérience qui était similaire à leur quatrième expérience mis à part le fait qu'ils ont rajouté un délai de 300 ms entre la disparition de l'objet et la réponse. Les résultats de cette expérience montraient qu'un délai de 300 ms entre la disparition de l'objet et le signal de réponse élimine efficacement l'effet de potentialisation. Ce résultat renforce l'idée que l'effet de l'objet visuel sur le système moteur est transitoire et donc susceptible d'être le résultat des mécanismes de représentation rapidement rafraîchis dans le système dorsal.

Tucker et Ellis (2001), suggéraient que le système dorsal semble être idéal pour générer des représentations visuomotrices basées uniquement sur les caractéristiques physiques des objets. Cependant, le système n'est pas isolé et peut être influencé par d'autres entrées, y compris celles du système ventral, pour que les transformations correctes se produisent. La connaissance conceptuelle de la fonction d'un objet peut être nécessaire pour diriger le système dorsal vers des parties appropriées d'un objet, comme sa poignée (Goodale & Humphrey, 1998). Finalement, Ellis et ses collègues (Ellis & Tucker, 2000 ; Tucker & Ellis, 2001) proposaient une liaison étroite des réponses visuelles avec celles liées à l'action dans la représentation des objets, ce qui suggère une interaction plus étroite entre les systèmes ventral et dorsal.

Cependant, l'étude de Tucker et Ellis (2004) a changé la donne. Dans leur première expérience, ils demandaient aux participants de porter un jugement conceptuel sur des objets présentés à l'écran (i.e., naturel vs artificiel). Ces objets étaient petits et généralement saisissables avec une saisie fine (e.g., une fraise) ou plus gros et généralement saisissables avec une saisie puissante (e.g., une pomme). Les participants devaient utiliser le même dispositif utilisé à l'origine par Ellis et Tucker (2000). Le but de cette première expérience était de confirmer que la présence visuelle d'un objet saisissable lors de la réponse n'était pas requise afin de générer une compatibilité d'affordance. Chaque essaie commençait donc par la coloration de l'écran en gris pendant 500 ms. Ensuite, l'objet apparaissait au centre de l'écran avec une durée variable (i.e., entre 20 ms et 300 ms). Tout de suite après, l'objet était remplacé soit par un stimulus sonore (i.e., masquage auditif) choisi au hasard soit par une image de l'arrière-plan vide (i.e., sans masquage) pendant trois secondes ou jusqu'à la réponse du participant. C'est dans cette phase que le participant devait indiquer si l'objet visualisé précédemment était artificiel ou naturel en utilisant le dispositif de réponse à deux boutons (saisie puissante vs. saisie fine). Les résultats de cette première expérience indiquaient que les objets, masqués ou non, et brièvement présentés ont induit des effets de potentialisation bien qu'ils n'étaient pas visibles au moment où la réponse a été sélectionnée, préparée et exécutée. En effet, la présence d'une réponse motrice activée ne semble pas dépendre de la présence simultanée d'un objet visuel. Le maintien d'une représentation de l'objet dans la mémoire à court terme semble être suffisant pour induire l'effet de potentialisation. Cela implique que l'activation d'une réponse motrice compatible ne repose pas nécessairement sur le traitement en ligne transitoire associé à la voie dorsale.

A la suite de cette première expérience, Tucker et Ellis (2004) ont réalisé une deuxième expérience afin de déterminer si l'activation de micro-affordances dépend uniquement de son identification. Si c'est le cas, les manipulations du contexte visuel dans lequel l'objet était affiché devraient avoir peu d'impact sur l'effet de potentialisation. La procédure de cette deuxième expérience était quasiment similaire à la précédente mis à part que l'objet était visible pendant la sélection et l'exécution de la réponse, ainsi que l'ajout d'autres contextes d'affichage des objets. Pour cette expérience, quatre conditions d'affichage étaient utilisées. Dans la première situation, l'objet était présenté brièvement (i.e., 50 ms) alors que dans la seconde, l'objet restait affiché jusqu'à la réponse du participant ou après l'écoulement d'un délai de 2500 ms. La troisième situation consistait à placer l'objet derrière une grille évoquant l'idée qu'il ne peut pas être atteint. Enfin, la dernière situation était une condition dans laquelle le contraste de

l'image était réduit (i.e., 90%) pour évaluer l'effet entre le moment où les informations sur la taille globale et l'identité de l'objet seraient disponibles. Cette dernière situation était mise en place pour évaluer l'effet de l'augmentation du temps entre la perception des informations de taille globale et l'identité de l'objet. Le fait de rendre les informations de taille disponibles plus tôt, par rapport aux informations d'identité, devrait réduire l'effet de compatibilité. Les résultats de cette deuxième expérience montraient que dégrader les conditions de perception des objets avec des situations de faible contraste, ainsi que des situations dans lesquelles l'objet était affiché derrière une grille évoquant l'idée que l'objet ne peut pas être atteint, n'ont pas produit d'altération de l'effet de potentialisation. De plus, les résultats de leur deuxième expérience indiquaient un effet de potentialisation similaire à celui obtenu dans leur première expérience lorsque la présence visuelle de l'objet n'était pas disponible au moment de la réponse. Ainsi, le traitement visuomoteur rapide et automatique associé au système dorsal ne semble pas être une exigence nécessaire pour obtenir un effet de potentialisation. De ce fait, ces chercheurs ont supposé que les associations visuomotrices à long terme entre l'objet et les réponses effectuées peuvent être la source de l'effet de potentialisation.

Ainsi, pour tester cette dernière hypothèse, Tucker et Ellis (2004) ont réalisé une troisième expérience qui avait une procédure similaire aux précédentes, mis à part que dans cette expérience ils présentaient des images d'objets saisissables à un groupe de participants et des noms d'objets saisissables à un autre groupe. Les résultats de cette expérience montraient que la perception de l'image d'un petit objet saisissable ou de son nom (e.g., fraise) facilitait les réponses de saisie fine par rapport aux saisies puissantes. De même, l'image d'un grand objet saisissable ou de son nom (e.g., pomme) facilitait les réponses de saisies puissantes par rapport aux saisies fines. Un effet de potentialisation similaire était signalé pour les deux types de stimuli (i.e., les images et les noms). Plus précisément, l'effet de potentialisation rapporté pour les images et pour les noms ne différait pas significativement. Etant donné que l'effet de potentialisation était obtenu avec des mots d'objets saisissables, on ne peut pas considérer que cet effet est dû uniquement à des représentations visuelles mais plutôt à des simulations motrices qui émergent lors de la lecture du mot. Ces données suggèrent que la voie par laquelle ces effets d'affordance sont générés dépend davantage de la connaissance stockée de l'objet et de ses actions associées (i.e., voie ventrale) que des caractéristiques physiques de l'objet visualisé (i.e., voie dorsale). Ce résultat fournit une preuve en faveur de l'approche simulationniste qui stipule que l'effet de potentialisation est dû à un processus de simulation dépendant de la mémoire.

Grèzes et al. (2003) ont effectué une étude dans laquelle ils utilisaient l'IRMF pour étudier les corrélats neuronaux de l'effet de potentialisation démontrés par Tucker et Ellis (2001). Comme dans l'étude de Tucker et Ellis (2001), Grèzes et al. (2003) utilisaient un protocole consistant à présenter des objets associés à une saisie fine et à une saisie puissante et demandaient aux participants de répondre en fonction de la catégorie des objets (i.e., artificiel vs. naturel) à l'aide d'un dispositif permettant de mimer une saisie fine ou puissante. Grèzes et al. (2003) ont observé un effet de potentialisation similaire à celui de Tucker et Ellis (2001). Fait intéressant, l'imagerie a révélé des activations qui varient avec la compatibilité dans le cortex prémoteur dorsal et le cortex frontal inférieur qui représentent la voie dorsale. De plus, ils suggéraient que plus la différence de temps de réaction entre les essais congruents et incongruents était grande (i.e., marqueur de l'effet de potentialisation), plus la concurrence entre l'action effectuée et l'action spécifiée par la tâche était grande et plus l'activation de ce réseau (voie dorsale) était grande. Cette étude a fourni une preuve en faveur d'une implication de la voie dorsale dans l'effet de potentialisation.

Derbyshire et al. (2006) ont étudié les effets de potentialisation pour le geste d'atteinte et le geste de saisie lors de l'imagerie mentale des objets. Dans leur première expérience, les participants étaient invités à catégoriser un objet dans un ensemble d'objets vus (quatre objets) disposés à proximité les uns des autres (voir Figure 5) comme étant artificiels ou naturels. Lors de chaque essai, une petite flèche apparaissait au milieu de l'écran qui dirigeait l'attention des participants vers l'un des quatre objets (i.e., deux objets artificiels et deux objets naturels). Les participants devaient répondre avec l'aide d'un dispositif de réponse habituel. Ils devaient effectuer une saisie fine ou une saisie puissante en fonction de la catégorie de l'objet désigné (i.e., artificiel vs. naturel). Les résultats indiquaient un effet de potentialisation classique. Cette expérience montrait que les effets de potentialisation motrice peuvent donc être obtenus lorsqu'un objet était présenté avec d'autres objets et pas uniquement lorsqu'il était présenté de manière isolée.

Ensuite, Derbyshire et al. (2006) ont réalisé une deuxième expérience qui avait globalement la même procédure que leur première expérience mis à part que les participants devaient répondre à la catégorie d'objets (i.e., artificiel vs. naturel) 700 ms après que l'objet était retiré du champ visuel. Ainsi, ce protocole impliquait que les participants devaient avoir recours à une image mentale visuelle de l'objet cible pour pouvoir répondre. Les résultats de cette deuxième expérience montraient que les objets imaginés pouvaient également permettre l'obtention d'un effet de potentialisation. Globalement cette étude suggérait que les effets de

potentialisation étaient similaires que les objets soient « vus » ou « imaginés ». Ce dernier résultat soutient que l'effet de potentialisation peut être issu de la voie ventrale. Cela montre le rôle crucial de la mémoire (i.e., connaissances) dans l'effet de potentialisation des objets saisissables et fournit une preuve supplémentaire en faveur de l'approche simulationniste.

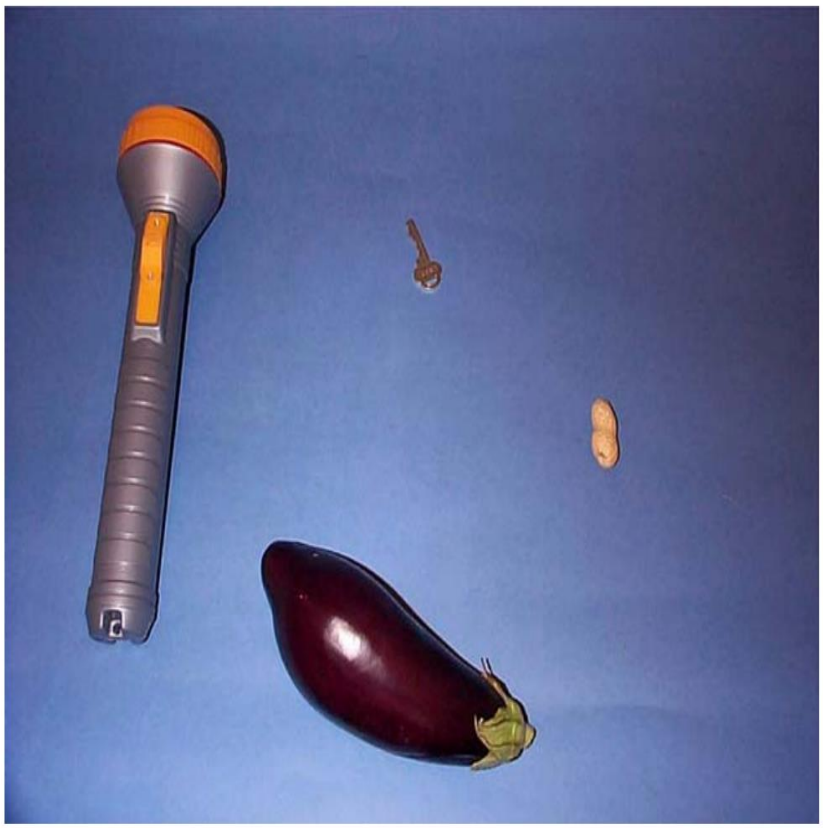


Figure 5. Condition expérimentale de la présentation des objets dans l'expérience 1 et 2 de Derbyshire et al. (2006).

D'une manière générale, ces travaux princeps suggèrent des preuves en faveur de l'implication de la voie dorsale (i.e., vision, en cohérence avec l'hypothèse par codage) pour l'effet de potentialisation, mais fournissent également des preuves en faveur de l'implication de la voie ventrale (i.e., mémoire, en cohérence avec l'hypothèse simulationniste). En revanche, à ce stade, nous ne pouvons pas établir avec certitude quelle approche est responsable de l'obtention de cet effet de potentialisation.

2. La vision un facteur confondu

Dans la majorité des études qui reproduisent l'effet de potentialisation des comportements de saisie, les objets utilisés sont présentés dans une taille visuelle correspondante à leur taille réelle (Ellis & Tucker, 2000 ; Grèzes et al., 2003 ; Makris et al., 2011 ; Tucker & Ellis, 2001, 2004). La pomme, par exemple est présentée dans une taille visuelle d'environ 10 cm tant dit qu'une fraise est présentée dans une taille visuelle d'environ 3 cm. Ainsi, la taille visuelle peut être considérée comme un facteur confondu qui peut possiblement expliquer l'effet de potentialisation. Plus précisément, on ne peut pas savoir si l'effet de potentialisation est dû à la récupération de la taille conceptuelle de l'objet (i.e., taille réelle de l'objet) ou plutôt à sa taille visuelle (i.e., grand vs. petit), qui peut favoriser le codage de taille des objets et des réponses, ce qui nous empêche de trancher entre l'hypohtèse simulationniste et celle de codage. Ce problème de confusion de la taille visuelle se trouve dans plusieurs études au niveau de la littérature (Voir Figure 6).

Publications	Experiences	Stimuli	Taille visuelle/réelle
Ellis et al. (2000)	Experience 1	Objets réels	confondue
Ellis et al. (2000)	Experience 2	Objets réels	confondue
Tucker & Ellis (2001)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2001)	Experience 2	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2001)	Experience 3	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2001)	Experience 4	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2001)	Experience 5	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2004)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2004)	Experience 2	Images d'objets	confondue
Tucker & Ellis (2004)	Experience 3	Images d'objets / mots d'objets	confondue / non confondu
Greze et al. (2003)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Derbyshire et al. (2006)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Derbyshire et al. (2006)	Experience 2	Images d'objets	confondue
Taylor & Zwaan (2010)	Experience 1	Images sphères 3D	confondue
Markis et al. (2011)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Flumini et al. (2015)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Markis et al. (2013)	Experience 1	Objets réels	confondue
Markis et al. (2013)	Experience 2	Objets réels	confondue
Ferri et al. (2011)	Experience 1	Images d'objets	confondue
Ferri et al. (2011)	Experience 2	Images d'objets / mots d'objets	confondue

Figure 6. Tableau récapitulatif de certains travaux expérimentaux qui démontrent un effet de potentialisation des comportements de saisie.

Taylor et Zwaan (2010) ont effectué une série de trois expériences pour tester l'affordance de la saisie des objets. Dans leur première expérience les participants devaient juger si les objets présentés sur un écran d'ordinateur étaient des sphères ou des cubes puis saisir un petit ballon (il se dégonfle lorsqu'on le presse) qui mesurait la force de pression de la saisie. Il y'avait quatre sphères et cubes ayant des diamètres différents (i.e., 16 cm, 12 cm, 6 cm et 4 cm). Le petit ballon que les participants devaient saisir mesurait 6 cm. Les participants devaient saisir un petit ballon qui était située à gauche de l'écran pour indiquer si l'objet était un cube et saisir un petit ballon situé à droite de l'écran pour indiquer si l'objet était une sphère. De plus, les essais enregistrés étaient uniquement ceux effectués sur le petit ballon de droite. Les auteurs prédisaient que la sphère la plus petite (4 cm) devrait générer plus de force de pression sur le petit ballon que les trois autres sphères, ce qui est conforme avec l'hypothèse de l'affordance de saisie. Cela est possible, car la plus petite sphère (4 cm) était plus petite que le petit ballon (i.e., 6 cm), ainsi elle nécessitait une pression supplémentaire pour que le participant puisse la saisir. En accord avec l'hypothèse de l'affordance de la saisie la sphère de 4 cm avait produit plus de force de pression sur le petit ballon que les trois autres sphères (i.e., effet de potentialisation).

Dans leur deuxième expérience, les auteurs ont utilisé globalement le même protocole que leur première expérience mis à part l'ajout de deux sphères avec des piques ainsi que la variation de la tâche qui n'était plus un jugement de forme mais un jugement de couleur (i.e., bleu vs. rouge). De ce fait, il y'avait deux sphères avec des piques (i.e., 16 cm et 4 cm) et deux sphères sans piques (i.e., 16 cm et 4 cm). Les résultats de cette deuxième expérience ont reproduit l'effet de potentialisation de leur première expérience mais uniquement pour les sphères sans piques, ce qui n'était pas le cas pour les sphères avec des piques.

Cependant, dans leur troisième, lorsque les mêmes sphères utilisées dans leurs premières expériences étaient présentées et étiquetées en tant que planètes, l'effet de potentialisation disparaissait. En conséquence, lorsque la nature saisissable des stimuli était supprimée (i.e., grâce à l'étiquette), visiblement la taille visuelle ne suffisait pas à induire un effet de potentialisation (Voir Figure 7). Cette dernière étude n'est pas conforme avec l'hypothèse de codage et soutient donc l'hypothèse simulationniste. Cependant, ce résultat doit être pris avec prudence car, à notre connaissance, aucune réplication de cette étude n'a été publiée. D'une manière globale, ces études laissent ouverte la possibilité que la taille visuelle puisse être une caractéristique de bas niveau des objets suffisante pour induire un effet de potentialisation.

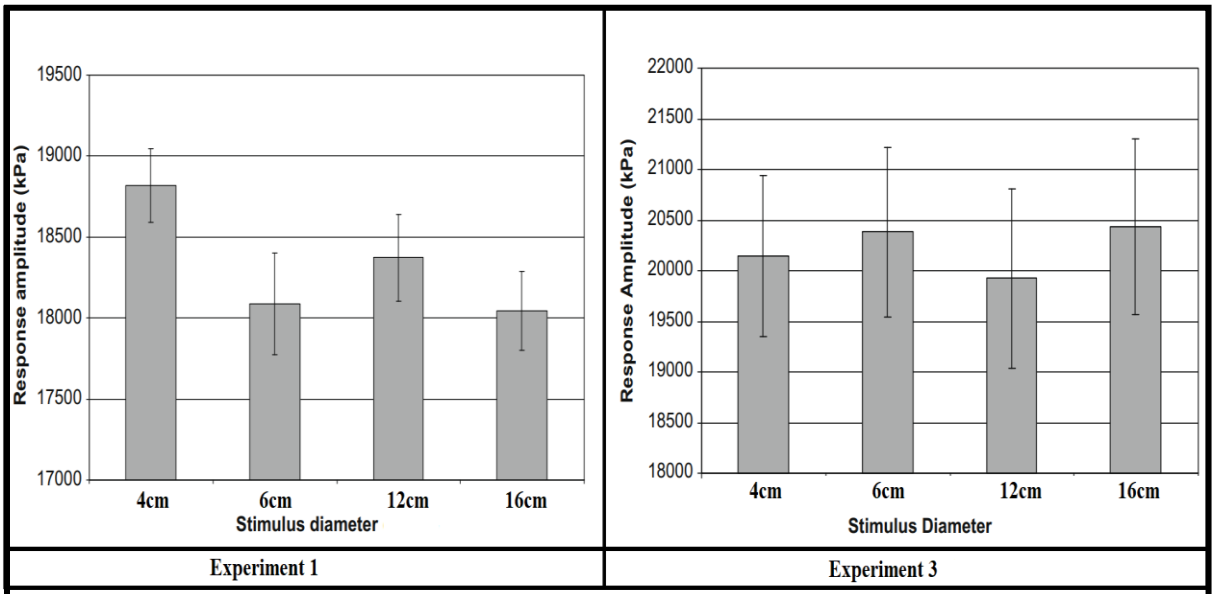


Figure 7. Résultats des expériences 1 et 3 de Taylor et Zwaan. 2010.

3. Une influence des connaissances

Comme nous l'avons évoqué dans les sections précédentes, la taille visuelle est une variable confondue avec la taille réelle dans la majorité des études et cela représente un problème fondamental qui laisse planer le doute quant à l'origine de l'effet de potentialisation et les processus mis en jeu pour l'obtenir (i.e., simulation vs. codage). Cependant, dans certains protocoles, la taille visuelle n'était pas un facteur confondu avec la taille réelle. Ces études se sont intéressées à l'influence du langage, du goût et des odeurs sur les gestes de saisie. En effet, elles suggèrent qu'il est possible d'obtenir cet effet de potentialisation avec d'autres stimuli non visuels ou encore avec des stimuli qui n'ont pas ce problème de confusion entre leur taille visuelle et leur taille réelle. Dans cette section, nous allons faire une revue de ces études qui suggèrent que l'effet de potentialisation n'est pas uniquement tributaire de processus visuels mais peut également découler de certaines connaissances stockées en mémoire.

3.1. Les travaux sur le langage

Nous allons présenter des travaux sur le langage, car plusieurs travaux suggèrent que les stimuli linguistiques peuvent automatiquement induire des simulations motrices. En effet, au premier abord, obtenir un effet de potentialisation motrice avec des mots est plus en faveur de l'approche simulationnistes car les mots permettent un contrôle méthodologique de la taille visuelle des objets. En effet, en présentant les objets sous la forme de mots, on exclut la taille visuelle

associée aux objets. Par conséquent, une explication en terme codage de taille n'est pas envisageable. Ensuite, nous allons présenter plusieurs études qui suggèrent des preuves comportementales et de neuro-imagerie qui montrent que les verbes d'action peuvent moduler le système moteur. En effet, investiguer cette modulation est importante dans le cadre de notre problématique, car elle provient potentiellement d'une simulation motrice, ce qui est en faveur de l'approche simulationniste.

Un ensemble de résultats expérimentaux supportent l'idée selon laquelle les processus de saisie sont intimement liés aux processus linguistiques. Par exemple, l'étude de McNeill (1992) a suggéré que les gestes manuels font partie intégrante du langage comme c'est le cas des mots. Au niveau comportemental, il a été démontré que les concepts abstraits activent plus la bouche tandis que les objets concrets activent plus la main (Borghi et al., 2011 ; Granito et al., 2015). Selon McNeill (1992), la parole et le geste forment un système unitaire. Une vision de plus en plus populaire, suggère que la parole a évolué à partir des gestes manuels. Le fait que le même hémisphère cérébral gauche joue un rôle dominant dans le contrôle de la praxis et du langage, cela est conforme à la théorie gestuelle du langage. Cette théorie est également soutenue par des études d'imagerie cérébrale montrant que l'activité dans l'aire de Broca, qui est connue pour être liée à la production de la parole, est également modulée par la saisie et la manipulation, l'observation des actions manuelles ainsi que par l'imitation.

L'hypothèse de double codage de Paivio (1971, 1986) suggère que les mots concrets (i.e., faisant généralement référence à des objets saisissables ou à un langage d'action) sont mieux mémorisés que les mots abstraits, car les premiers sont codés à la fois sous un format imagé (i.e., un code sensorimoteur) et verbal, tandis que les derniers sont codés uniquement sous un format verbal. D'une manière similaire, Barsalou (2008) a considéré que l'encodage de concepts concrets implique des simulations modales, y compris des simulations motrices, alors que les concepts abstraits sont principalement encodés par le système linguistique. En outre, il a été démontré à travers l'IRMf que, même si les mots concrets et abstraits activent les zones sensorielles, les phrases abstraites recrutent plus de domaines linguistiques du cerveau que des phrases concrètes (Sakreida et al., 2013).

Plusieurs études suggèrent qu'il est possible d'obtenir un effet de potentialisation avec des noms d'objets. Cela est très intéressant, car utiliser des mots comme stimuli permet d'éviter le problème de la taille visuelle. En effet, les noms désignant des objets saisissables grands ou petits, sont affichés dans une même taille visuelle. De ce fait, si un effet de potentialisation avec des noms d'objets est observé cela signifie qu'il pourrait être dû soit à des informations motrices

activées ou simulées lors du traitement conceptuel des noms d'objets soit à un codage de taille qui s'opère grâce à la récupération de la taille conceptuelle (i.e., taille réelle de l'objet en mémoire). Comme déjà expliqué, Tucker et Ellis (2004, expérience 3) ont présenté deux types de stimuli manipulés en inter-sujet aux participants, des images d'objets saisissables et les noms de ces mêmes objets. Ces objets sont soit habituellement saisis avec une saisie fine (e.g., une fraise), soit habituellement saisis avec une saisie puissante (e.g., pomme). Les participants devaient effectuer une catégorisation sémantique (i.e., artificielle vs. naturelle) à l'aide d'un dispositif de réponse à deux boutons (i.e., saisie fine vs. saisie puissante). Leurs résultats suggéraient un effet de potentialisation à la fois pour les images et les mots. Ce résultat est critique car il suggérait que l'effet de potentialisation était dû à des informations motrices activées ou simulées lors du traitement des concepts d'objets et noms d'objets. Puisque l'effet de potentialisation était obtenu avec des mots d'objets saisissables, on ne peut pas considérer que cet effet est dû uniquement à des représentations visuelles mais plutôt à des simulations motrices qui émergent lors de la lecture du mot ou bien grâce à la récupération de la taille conceptuelle (i.e., taille réelle de l'objet en mémoire). Ainsi, cette étude semble être en accord avec l'hypothèse simulationniste, étant donné que l'effet semble être influencé par la mémoire.

Glover et al. (2004) ont publié un article faisant état de preuves convergentes qui suggéraient que les mots peuvent automatiquement induire des simulations motrices. En effet, ils ont cherché à savoir si une composante de l'action : l'ouverture de la main lors d'un mouvement de saisie, pouvait être implicitement influencée par des mots représentant des objets saisissables qui étaient soit petits (e.g., une fraise), soit grands (e.g., une pomme). Les participants lisent d'abord un mot puis devaient saisir un bloc de bois situé devant eux. Glover et al. (2004) ont mesuré l'ouverture de la main pendant la phase d'atteinte du mouvement de saisie. Au début du mouvement, la lecture d'un mot représentant un grand objet conduisait à une plus grande ouverture de la main que la lecture d'un mot représentant un petit objet. Cependant, cette différence diminuait au fur et à mesure que la main s'approchait de la cible, suggérant une correction en ligne de cet effet conceptuel. Une telle correction est conforme au modèle de planification/contrôle développé par Glover (2002), à savoir que l'information conceptuelle influence uniquement la phase de planification et non celle du contrôle. Ce dernier résultat est très important car il supporte l'idée que l'effet conceptuel des mots serait transitoire puisqu'il influence uniquement la phase de planification de la saisie. Pris ensemble, les résultats de Tucker et Ellis (2004) et de Glover et al. (2004) suggèrent la possibilité de retrouver une

influence des noms d'objets sur la planification d'un geste de saisie alors que la taille visuelle des stimuli est contrôlée conformément aux prédictions de l'approche simulationniste.

Borghi et Riggio (2015) ont suggéré qu'il existe deux types de micro-affordances possibles. Les micro-affordances stables et celles qui sont variables. Ils supposent en particulier que des micro-affordances stables se produisent en raison de la connaissance des caractéristiques invariantes des objets. En effet, la taille d'un objet, comme celle d'une fraise par exemple, reste relativement similaire d'une fraise à l'autre. Ainsi, une telle caractéristique invariante peut conduire à la construction d'une connaissance de la fraise intégrant sa taille. D'autre part, les micro-affordances variables dépendent des propriétés de l'objet qui sont plus variables. Par exemple, l'orientation des objets (e.g., une poêle de cuisine) diffère à chaque rencontre avec ces même objets (e.g., poêle) ainsi qu'entre divers exemplaires de la catégorie (i.e., entre différentes poêles). À l'appui de cette dissociation, la méta-analyse de Sakreida et al. (2016) a suggéré deux voies fonctionnelles parallèles dédiées à chaque type de micro-affordances et qui se chevauchent dans une certaine mesure. Le réseau de micro-affordances stables impliquerait essentiellement le cortex pariétal inférieur et frontal dans la voie ventro-dorsale, alors que le réseau de micro-affordances variables est plutôt localisé dans la voie dorso-dorsale. Fait intéressant, Borghi et Riggio (2015) ont soutenu que les images peuvent permettre l'accès automatique à des micro-affordances à la fois stables et variables, car suivant la perception de l'image d'un objet, il est possible de déterminer à la fois les caractéristiques invariantes (e.g., la taille) et les caractéristiques variables (e.g., l'orientation, couleur). Par exemple, lorsque nous percevons l'image d'une poêle, sa taille et son orientation sont visibles. Borghi et Riggio (2015) ont soutenu en revanche que les mots peuvent uniquement permettre l'accès automatique à des micro-affordances stables. En effet, ils ont suggéré que les micro-affordances stables sont basées sur des propriétés d'objet relativement invariantes, qui peuvent donc faire partie du concept de l'objet. Ainsi, une telle micro-affordance pourrait être automatiquement accessible lors de la simple lecture des noms d'objets. Selon cette optique, la taille peut être une propriété invariante qui peut être automatiquement accessible, même lorsque les objets sont présentés sous la forme de mots. Ainsi, il est possible que des mots désignant des objets habituellement associés à une saisie fine ou à une saisie puissante, puissent logiquement potentialiser respectivement une saisie fine ou une saisie puissante. Cela, suggère que même si la taille visuelle est contrôlée avec l'utilisation des mots, il est possible que ces derniers puissent générer un effet de potentialisation puisqu'ils permettent l'accès automatique

à des micro-affordances stables via la voie ventro-dorsale qui est sensible aux connaissances ce qui est conforme avec l'approche simulationniste.

Cependant, les choses ne sont pas aussi simples, une étude de Flumini et al. (2015) n'a pas réussi à rapporter un effet de potentialisation avec les noms d'objets saisissables. Dans cette étude, les auteurs ont réalisé deux expériences. Dans la première, ils ont utilisé des images d'objets. La réponse des participants était réalisée grâce à une petite ou une grande souris d'ordinateur. La petite souris devait être saisie entre le pouce et l'index, grâce à une saisie fine, tandis que la plus grande souris devait être saisie avec toute la main, grâce à une saisie puissante. Ils ont demandé à leurs participants de faire une catégorisation sémantique des images d'objets saisissables (i.e., naturel vs. artificiel) qui pouvaient être petits ou grands (e.g., fraise vs. pomme). Dans cette expérience, les participants percevaient au centre d'un écran d'ordinateur un mot de référence (i.e., artificiel ou naturel), puis deux images d'objets apparaissaient à l'écran. L'un était dans le coin supérieur droit tandis que l'autre était dans le coin supérieur gauche (Voir Figure 8). Ensuite, les participants devaient déplacer le plus rapidement possible le curseur de la souris situé dans la partie centrale et inférieure de l'écran, vers le coin supérieur droit ou gauche afin de cliquer sur l'image qui correspond au mot de référence perçu antérieurement (i.e., artificiel vs. naturel). Les résultats de cette première expérience ont révélé un effet de potentialisation motrice. Plus précisément, ils ont montré que les trajectoires de réponse suivies par les participants étaient plus directes, révélant moins d'incertitude dans le processus décisionnel, lorsque le type de saisie de la souris (i.e., saisie fine vs. saisie puissante) correspondait à la taille de l'objet (i.e., petit vs. grand).

Dans leur deuxième expérience, ils ont utilisé exactement le même protocole, mais cette fois les objets n'étaient plus présentés sous forme d'image mais plutôt sous forme verbale (i.e., mots). Les participants percevaient au milieu de l'écran un mot de référence (i.e., artificiel ou naturel), puis deux mots d'objets apparaissaient sur l'écran. L'un était dans le coin supérieur droit tandis que l'autre dans le coin supérieur gauche. Les participants devaient déplacer le curseur vers le coin supérieur droit ou gauche afin de cliquer sur le mot (i.e., nom d'objet saisissable) qui correspond au mot de référence perçu antérieurement. Dans ce cas, aucun effet de potentialisation motrice n'a pu être mis en évidence. Autrement dit, les trajectoires de réponse étaient similaires entre les conditions compatibles et non compatibles. Ce dernier résultat est en accord avec l'hypothèse de codage qui stipule que l'effet de potentialisation disparait en l'absence de la taille visuelle.

Cependant, l'absence d'effet de potentialisation avec des mots d'objets saisissables peut également être due au dispositif de réponse utilisé ou plus largement à différents aspects de leur protocole qui diffèrent de celui utilisé par Tucker et Ellis (2004). En effet, Flumini et al. (2015) avaient deux dispositifs de réponses qui étaient utilisés dans des blocs distincts de l'expérience : une petite souris d'ordinateur était utilisée dans l'un des blocs et une grande souris d'ordinateur était utilisée dans l'autre bloc. Tandis que Tucker et Ellis (2004) avaient un seul dispositif avec deux boutons qui étaient utilisés simultanément dans le même bloc. Par ailleurs, l'exécution de la tâche de Tucker et Ellis (2004) était plus rapide, et le participant devait rester statique avec le dispositif de réponse en main contrairement à Flumini et al. (2015) qui demandaient à leurs participants de réaliser une trajectoire particulière avec le dispositif de réponse. Ce dernier point est important car il est possible, considérant les résultats de Glover et al. (2004), que l'effet conceptuel soit corrigé en ligne. En résumé, ces données suggèrent que l'effet de potentialisation est moins fiable pour les mots que pour les images, bien que les différences méthodologiques entre les études citées empêchent de parvenir à une conclusion ferme.

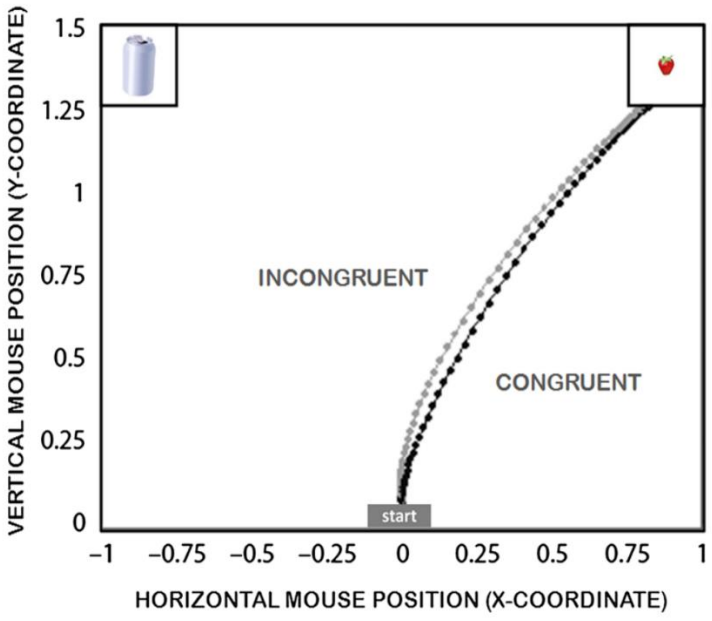


Figure 8. Exemple d'un essai expérimental de l'expérience 1 de Flumini et al. 2015

Finalement, cette contradiction dans la littérature concernant les noms d'objets saisissables ne nous permet pas en l'état de nous positionner et d'affirmer quelle approche est mise en jeu dans cet effet de potentialisation. En outre, dans les travaux réalisés jusqu'à présent

sur l'effet de potentialisation, même si les stimuli linguistiques utilisés sont des noms d'objets qui sont associés à certaines actions spécifiques réalisées lors de la vie courante, il est possible qu'un processus de simulation motrice soit difficilement mis en œuvre avec ce type de stimuli. En revanche, la littérature supporte le fait que le processus de simulation motrice serait plus facilement mis en œuvre pour les verbes d'action. En effet, plusieurs études suggèrent des preuves comportementales et de neuroimagerie qui montrent que les verbes d'action peuvent moduler le système moteur (Glenberg & Kaschak, 2002 ; Fernandino et al., 2013 ; Aziz-Zadeh et al., 2006 ; Moreno et al., 2013). Dans ce cadre, nous allons effectuer une revue de littérature qui suggère l'influence des verbes d'action sur le système moteur.

3.1.1. Les preuves comportementales

Dans une étude princeps, Glenberg et Kaschak (2002) ont demandé aux participants d'indiquer si des phrases avaient un sens (i.e., jugement de cohérence) en réalisant des mouvements de la main vers le corps ou vers l'extérieur. Certaines phrases suggéraient le transfert d'objets vers le corps du participant (e.g., Andy vous a livré la pizza), tandis que d'autres suggéraient un transfert vers l'extérieur (e.g., vous avez livré la pizza à Andy). Les réponses étaient plus rapides lorsque la direction de l'action requise par le jugement de cohérence était compatible avec la direction de l'action suggérée par la phrase. Ces résultats suggèrent qu'à la suite de la lecture de phrases qui contiennent un verbe, une simulation motrice peut possiblement se mettre en œuvre, facilitant les actions qui sont en cohérence avec le sens suggéré par la phrase.

Bien qu'il existe de nombreuses preuves corrélationnelles de l'implication des systèmes sensori-moteurs dans le traitement conceptuel des mots, il est encore difficile de savoir s'ils jouent un rôle fonctionnel. Certains chercheurs parlent d'une « sémantique incorporée » selon laquelle les concepts qui sous-tendent le sens des mots sont constitués par les traces de mémoire d'expériences sensori-motrices passées (e.g., Damasio, 1989). Dans cette perspective, une forme verbale acquiert au moins une partie de sa signification par le biais de représentations perceptuelles, émotionnelles et motrices, et sa récupération en mémoire nécessite la reconstitution neurale de ces traces sensori-motrices (Binder & Desai, 2011 ; Barsalou, 1999).

Fernandino et al. (2013) ont comparé les performances des patients atteints de la maladie de Parkinson à celles de participants témoins sains lors du traitement de verbes d'action et de verbes abstraits. Ils s'attendaient à ce que la défaillance du système moteur des patients atteints de la maladie de Parkinson perturbe de manière sélective le traitement conceptuel des verbes d'action. Pour se faire les chercheurs ont utilisé deux tâches dans leur expérience, une première

dans laquelle les demandes conceptuelles étaient implicites (i.e., décision lexicale), et une deuxième dans laquelle les demandes conceptuelles étaient explicites (i.e., jugement de similarité conceptuelle). Pour la première tâche les participants devaient dire le plus rapidement possible si la cible présentée à l'écran était un « mot » ou un « non-mot » en appuyant sur l'un des deux boutons disponibles. Pour la deuxième tâche, trois mots étaient présentés simultanément dans un arrangement triangulaire et les participants devaient décider lequel des deux mots situés au bas de l'écran avait un sens le plus similaire à celui situé en haut. Dans les deux tâches, les performances des patients atteints de la maladie de Parkinson étaient altérées de manière sélective pour les verbes d'action par rapport aux participants témoins, ce qui signifie que le système moteur jouerait un rôle dans le traitement des verbes d'action. Ces résultats montrent que les dégradations du système moteur sont accompagnées de dégradations sélectives dans le traitement des verbes liés à l'action. Le traitement des verbes d'action a été relativement entravé à la fois au niveau de la reconnaissance automatique des mots et au niveau du jugement conceptuel contrôlé. Cette étude plaide en faveur d'un rôle causal des systèmes sensori-moteurs dans le traitement conceptuel. Le système moteur semble essentiel pour une bonne conceptualisation de stimuli linguistiques et plus particulièrement des verbes d'action.

Dans la même continuité, Boulenger et al. (2008) réalisent une étude dans laquelle ils évaluent le traitement des verbes d'action chez des patients atteints de la maladie de Parkinson. Ils ont comparé le traitement des verbes d'action (e.g., dessiner) et des noms concrets (e.g., moulin) pour des patients atteints de la maladie de Parkinson qui ne prenaient pas leurs traitements, et d'autres qui prenaient un traitement dopaminergique, ainsi que des personnes saines (i.e., témoin) dans un paradigme de masquage. La tâche des participants était de faire une décision lexicale ; ils devaient dire si la suite de lettre présentée à l'écran était un mot ou un non-mot. Chaque essai commençait par une croix de fixation au milieu de l'écran qui durait 500 ms. Un stimulus visuel de masquage, représentant des symboles (Voir figure 9), apparaissait pendant 100 ms. Ensuite, un mot « Prime » - qui était soit un verbe d'action, soit un nom concret ou alors un non-mot - apparaissait pendant 50 ms, suivi de l'apparition du même stimulus visuel de masquage qui était affiché pendant 100 ms. Enfin, un mot « Target » qui était le même mot que « Prime » mais écrit d'une manière différente (e.g., DESSINER/dessiner) apparaissait à l'écran. C'est à ce moment que le participant devait répondre le plus rapidement possible en appuyant sur l'une des deux touches du clavier, pour indiquer si « Target » était un mot ou un non-mot.

Ce protocole expérimental est particulier ; le mot « prime » n'était pas perçu consciemment, néanmoins il active la partie cérébrale essentielle pour le traitement des mots et induit ainsi, une réduction du temps de réponse pour le traitement du mot « Target ». Etant donné que la région, responsable de la préparation motrice, est sous activée chez les malades atteints de Parkinson, l'accès lexical pour les verbes masqués devrait être plus difficile chez ces malades, si cette région corticale motrice contribue vraiment au traitement des mots d'action. Cependant, pour les malades atteint de Parkinson qui prennent un traitement dopaminergique aucun problème de traitement des verbes d'action ne devrait être observé.

Les résultats ont révélé que lorsque les patients atteints de la maladie de Parkinson étaient privés de leur traitement dopaminergique, ainsi leurs problèmes moteurs étaient encore présents, leur traitement des verbes d'action était altéré. Cependant, aucune altération n'était observée pour les noms concrets, ce qui enlève la possibilité que l'altération des traitements des verbes d'action était due à une baisse de leurs habilités causée par leur maladie. Ce qui est plus intéressant, c'est qu'à la suite de la prise de leur traitement dopaminergique, le traitement des verbes d'action de ces malades s'était restauré en devenant identique à celui du groupe sain. Ainsi, étant donné que le processus de traitement des verbes d'action pour les patients atteints de Parkinson change avec le traitement, cela suggère que la région corticale motrice est sollicitée pour le traitement du langage d'action. Par ailleurs, cela supporte l'idée que les verbes d'action sont représentés dans la région corticale motrice.

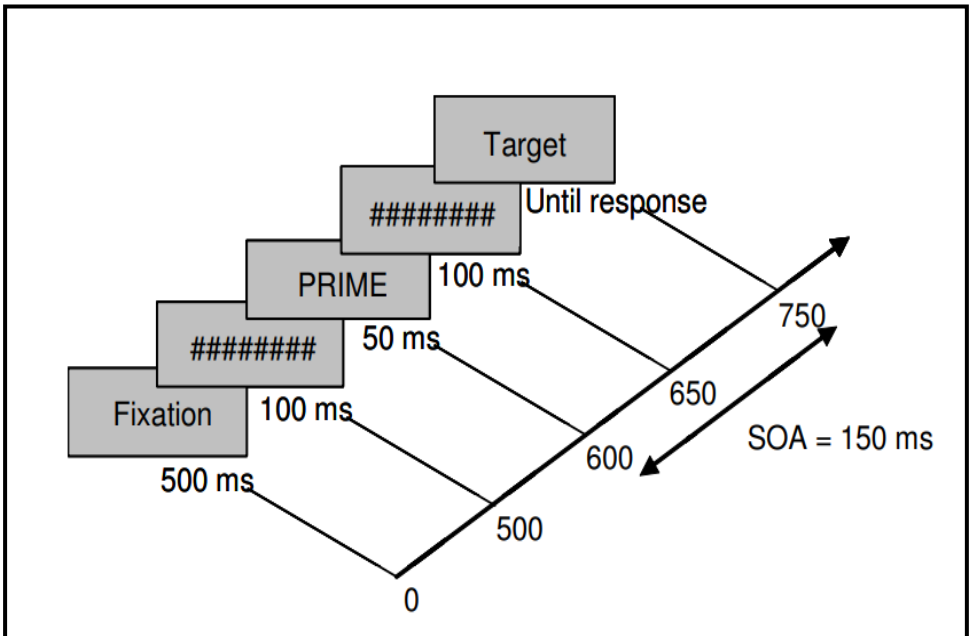


Figure 9. La procédure expérimentale de l'étude de Boulenger et al. 2008

La relation entre action et verbes d'action apparaît tôt dans l'enfance, comme en témoigne le recrutement de zones motrices chez les enfants de 4 à 5 ans lorsqu'ils doivent traiter des verbes d'action (James & Maouene, 2009). De plus, certaines études ont montré que de nouvelles associations entre mots et actions peuvent apparaître rapidement après un certain apprentissage. Fargier et al. (2012) ont montré qu'une journée d'entraînement est suffisante pour associer des actions observées à de nouveaux stimuli verbaux et pour détecter l'activation motrice lorsque ces nouveaux stimuli verbaux sont traités. Cependant, il est difficile de savoir si les associations entre langage et action peuvent être modifiées par une mise à jour rapide des représentations sensorimotrices. Bidet-Ildei et al. (2017) se sont penchés sur cette question et ont essayé de démontrer que l'immobilisation du membre supérieur à court terme affecte l'exécution d'une tâche de décision conceptuelle sur des verbes d'action impliquant des mouvements au niveau des mains ou des pieds. Dans leur étude, le bras dominant des participants droitiers était immobilisé pendant 24 heures avec une attelle rigide fixée sur la main et un gilet d'immobilisation retenant l'épaule alors que le groupe témoin n'avait pas subi une telle immobilisation. Lors de chaque essai, un verbe d'action apparaissait à l'écran d'un ordinateur. C'est à ce moment que les participants devaient répondre verbalement le plus rapidement possible, « main », si le verbe d'action impliquait la main (e.g., écrire), ou « pied » si le verbe d'action impliquait le pied (e.g., courir). Leur hypothèse stipulait que le jugement des verbes d'action de la main devrait être ralenti dans le groupe immobilisé, car cette immobilisation devrait affecter le recours à des processus sensorimoteurs. Les résultats ont montré que les participants qui n'ont pas subi d'immobilisation ont jugé plus rapidement les verbes de la main que les verbes d'action relatifs au pied, alors que cette différence n'existait pas pour les participants ayant été immobilisés. Cette étude suggère clairement que l'immobilisation de la main pendant 24 heures ralentit le jugement des verbes relatifs à la main, suggérant que des associations bien établies entre langage et action peuvent être affectées par une privation sensorimotrice périphérique. Ces résultats démontrent pour la première fois que la privation sensorimotrice à court terme peut affecter le traitement des verbes d'action suggérant ainsi une relation fonctionnelle entre les processus sensorimoteurs et le langage.

3.1.2. Les preuves de neuroimagerie

Aziz-Zadeh et al. (2006) ont utilisé l'IRMf pour déterminer si des phrases décrivant des actions effectuées avec différents effecteurs (e.g., main, bouche et jambe) activeraient différentes parties du cortex frontal (i.e., zones motrices et prémotrices) qui sont également actives lorsqu'un individu observe des actions effectuées par d'autres personnes. Les participants

devaient simplement lire des phrases ou regarder des vidéos relatives aux actions du pied, de la main ou de la bouche. Il y avait deux types de phrases : littérale (e.g., mordre la pêche) et métaphorique (e.g., mordre plus que vous ne pouvez mâcher). Dans le cortex prémoteur de l'hémisphère gauche, une congruence corticale claire était trouvée entre la perception d'action réelle via des vidéos et la lecture des actions décrites par des phrases littérales. En d'autres termes, les auteurs ont trouvé une congruence entre l'activation corticale des actions qui étaient observées et celles des actions qui étaient verbalement décrites. Cela fourni une preuve de l'implication des aires prémotrices et motrices lors du processus conceptuel des phrases linguistiques qui décrivent des actions.

Dans la même veine, Hauk et al. (2005) ont également utilisé L'IRMF pour tester si la lecture de verbes d'action qui se réfèrent au visage, mains et pieds active les aires motrices qui sont proches de celles activées pour les mouvements de la longue, des doigts et des pieds. Leurs résultats ont indiqué un chevauchement entre l'activité cérébrale des verbes d'action qui se réfère aux mains et aux pieds et l'activité produite lors des mouvements réels des doigts et pieds, ainsi qu'une proximité de l'activité cérébrale qui traite des verbes d'action qui font référence au visage et celle qui est reliée aux mouvements de la longue qui suivent une organisation somatotopique. Ces résultats démontrent que les actions réelles et les verbes d'action impliquent des activations motrices et prémotrices réparties selon une même logique somatotopique, ce qui signifie que les verbes d'action activent le système moteur, suggérant que la simple perception des verbes d'action peut générer une simulation motrice.

Il est à noter que le concept de simulation motrice est souvent supposé être similaire ou identique à l'imagerie motrice. Willems et al. (2010) ont utilisé l'IRMf pour tester si les simulations implicites d'actions, pendant la compréhension des verbes d'action impliquent les mêmes régions que l'imagerie motrice explicite. Dans leur étude, ils ont présenté aux participants des verbes liés aux actions de la main (e.g., lancer), des actions non manuelles (e.g., s'agenouiller) et des non-mots. Les participants devaient effectuer deux tâches distinctes. La première était une tâche de décision lexicale qui consiste à dire si la suite de lettre présentée à l'écran était un mot ou un non-mot en répondant par « oui » ou « non ». La deuxième était une tâche d'imagerie motrice qui consiste à lire un verbe, puis à fermer les yeux et à s'imaginer activement effectuer les actions nommées par le verbe. Les résultats ont indiqué que le cortex prémoteur gauche avait une activation plus forte qui était spécifique à l'effecteur évoqué par les verbes manuels par rapport aux verbes non manuels. De plus, l'activation du cortex prémoteur était signalée pendant les tâches de décision lexicale et celle de l'imagerie explicite.

En revanche, le cortex moteur primaire s'était activé spécifiquement pendant l'imagerie, mais pas pendant la décision lexicale. Néanmoins, les résultats ont indiqué l'absence de corrélation entre les régions activées par les deux tâches. Les auteurs ont suggéré que la simulation implicite comprend peut-être un sous-ensemble de processus cognitifs impliqués dans l'imagerie explicite. Car, la compréhension du langage est généralement rapide et sans effort alors que la construction d'images mentales conscientes est relativement lente et laborieuse (Kosslyn & Ochsner, 1994). Ces résultats suggèrent que les deux tâches (i.e., décision lexicale et imagerie mentale) activent le système moteur comme le prédit l'approche simulationniste. Cependant, cette activation motrice diffère légèrement entre les deux tâches suggérant qu'il ne semble pas y avoir une similarité parfaite entre les processus recrutés par le langage d'action (i.e., simulation motrice) et l'imagerie motrice.

Moreno et al. (2013) ont réalisé une étude EEG dans laquelle ils ont voulu savoir si les rythmes mu et bêta, généralement considérés comme des marqueurs électrophysiologiques des processus moteurs dans le cerveau, sont modulés par la compréhension du langage d'action. Il est à noter que les rythmes, mu (8–13 Hz) et bêta (15–30 Hz), captés par l'EEG sont classiquement observés à l'état de repos et sont supprimés lorsque les participants effectuent une action manuelle ou quand ils observent l'action réalisée par une autre personne (McFarland et al., 2000 ; Pfurtscheller et al., 2006). En conséquence, dans l'expérience de Moreno et al. (2013), les participants devaient dans un premier bloc, écouter un ensemble de phrases d'action et d'autres abstraites et dans un second bloc, ils regardaient des vidéos. Après chacun des blocs, les participants devaient dire parmi les phrases et les vidéos, qui étaient à nouveau présentées, lesquelles avaient été vues précédemment. Les résultats ont indiqué la suppression des rythmes mu et bêta spécifiquement, lorsque les participants regardaient des vidéos d'actions ainsi que des phrases d'action et non des phrases abstraites. Ce résultat suggère que les phrases d'action induisaient une simulation motrice qui activerait le système moteur, ce qui pourrait expliquer la suppression des rythmes mu et bêta à la suite de l'écoute de ce type de phrases. Cela renforce l'hypothèse selon laquelle la compréhension du langage d'action activerait des réseaux moteurs dans le cerveau.

De ce fait, cette revue de littérature suggère que les stimuli linguistiques impliquant un langage d'action (e.g., verbe d'action) peuvent potentiellement permettre l'obtention d'un effet de potentialisation via un processus de simulation motrice, ce qui est en faveur de l'approche simulationniste.

3.2. Une influence des odeurs

Un grand nombre de publications suggèrent que les odeurs peuvent aussi influencer les gestes moteurs et faciliter l'occurrence d'un effet de potentialisation motrice. Castiello et al. (2006) ont demandé à leurs participants de sentir une odeur puis de saisir un objet en adoptant un protocole très similaire à celui de Glover et al. (2004).

Leurs résultats indiquaient que si l'odeur cible évoquait un objet de petite taille (e.g., une fraise), l'amplitude de l'ouverture maximale de la main était moins importante par rapport à la condition où l'odeur qui évoquait un objet plus grand (e.g., une pomme). Ce résultat, suggère que le simple fait de sentir une odeur d'un objet, petit ou grand, induise un effet de potentialisation. En effet, il est envisageable selon une perspective simulationniste que le fait de sentir l'odeur d'un objet induise une simulation motrice qui permet la récupération de la saisie spécifique de cet objet, ce qui permet la modulation de l'ouverture de la main. Néanmoins, il est également envisageable, selon une perspective de codage, que le fait de sentir l'odeur d'un objet permet la récupération de la taille conceptuelle de l'objet senti, ce qui peut permettre la modulation de l'ouverture de la main. Ainsi, cette dernière suggestion laisse ouverte la possibilité que le codage peut dépendre de la taille visuelle, mais également de la taille conceptuelle.

Dans la même veine, Tubaldi et al. (2008) ont demandé aux participants d'atteindre et de saisir un grand objet à l'aide d'une saisie puissante ou un petit objet à l'aide d'une saisie fine en l'absence ou en présence d'une odeur qui évoquait soit un petit ou un grand objet (e.g., fraise vs pomme). Les résultats ont montré que lorsque le type de saisie évoqué par l'odeur ne coïncidait pas avec celui de la cible visuelle, des effets d'interférence étaient mis en évidence sur la cinématique du geste de saisie et au niveau des synergies entre les doigts. Alors que, lorsque la cible visuelle et l'objet évoqué par l'odeur nécessitent le même type de saisie, une facilitation émergeait et les relations intrinsèques entre les doigts étaient maintenues (i.e., effet de potentialisation). Ces derniers résultats ont suggéré que la représentation olfactive semble être intégrée dans le vocabulaire d'action.

L'approche simulationniste peut très bien expliquer ces résultats, car elle suggère qu'à la suite de l'exposition à une odeur d'un objets manipulable (e.g., fraise), une simulation motrice peut se produire permettant la récupération de la saisie spécifique de l'objet (e.g., saisie fine) que représente l'odeur. Au premier abord, étant donné que la taille visuelle était contrôlée, ces résultats semblent être en accord avec l'approche simulationniste car une explication par codage basée sur la taille visuelle n'est pas possible. Néanmoins, le codage de taille pouvait

être induit par le codage de la taille conceptuelle, ce qui laisse ouverte la possibilité que ces résultats puissent être expliqués par une approche par codage de taille. Par ailleurs, l'approche par codage de polarité peut également expliquer ces résultats, car les odeurs diffèrent par rapport à la dimension conceptuelle. Ainsi les odeurs qui évoquent des grands objets peut leur être attribué un code de polarité positif "+", alors qu'un code de polarité négatif "-" peut être attribué aux odeurs qui évoquent des petits objets.

3.3. Une influence des goûts

Dans la continuité des travaux précédents, certains chercheurs ont tenté d'analyser une possible influence du goût. Parma et al. (2011a) ont demandé à leurs participants de boire une gorgée d'une solution aromatisée dont le goût évoquait un objet saisissable petit ou grand (e.g., fraise vs. pomme), puis de fermer les yeux. À la suite de cela, un son indiquait aux participants d'ouvrir les yeux puis d'atteindre et de saisir un objet en plastique. Les résultats indiquaient que lorsque les objets évoqués par le goût (e.g., une pomme) et la cible visuelle étaient de taille identique (i.e., petit/petit vs. grand/grand), les participants gardaient le même type de mise en forme de la main pour saisir l'objet cible (condition congruente). A l'inverse, lorsque l'objet évoqué par le goût et le stimulus visuel étaient de taille différente, le participant changeait la mise en forme de sa main afin de pouvoir saisir l'objet cible (condition incongruente). En outre, lorsqu'ils ont comparé la cinématique de la main entre les conditions congruente et contrôle (i.e., sans goût, boire de l'eau), des effets de facilitation sont apparus en faveur de l'état congruent. Ce dernier résultat, cohérent avec les travaux sur les odeurs, suggère que le système moteur peut être modulé par d'autres modalités sensorielles (e.g., le goût) sans forcément passer par un processus de visualisation des objets. Il est possible qu'à la suite de la dégustation de l'arôme qui évoque un objet saisissable, une simulation motrice s'était produite permettant ainsi, une récupération de la saisie spécifique de l'objet évoqué par l'arôme permettant une adaptation de la mise en forme de la main, ce qui est cohérent avec une approche simulationniste. Cependant, même si la taille visuelle était contrôlée il est envisageable qu'un codage de taille s'était produit grâce à la taille conceptuelle ou encore qu'un codage de polarité s'était mis en œuvre permettant des effets de facilitation dans les conditions congruentes avec une perspective de codage.

Il convient de signaler que les travaux abordant l'influence des odeurs et des goûts sur le système moteur sont très intéressants dans le cadre du débat sur l'approche sous-jacente (i.e., simulation vs. codage). En effet, même s'il est envisageable selon une approche simulationniste qu'être exposé à l'odeur ou au goût d'un objet induit une simulation motrice qui permet la

récupération de la saisie spécifique de cet objet, une explication alternative de codage est possible. Une telle exposition, selon une approche par codage, pourrait permettre un codage abstrait de la taille sémantique de cet objet, même si, à notre connaissance, cette alternative n'a pas été suggérée au niveau de la littérature. De ce fait, même si au premier abord, ces travaux sont en faveur d'une approche simulationniste, nous avons voulu préciser au lecteur qu'une explication en termes de codage est également possible, ce qui suggère que trancher entre ces deux approches (i.e., simulation vs. codage) est une tâche complexe. Cela nous a poussé à effectuer une revue exhaustive de la littérature en traitant certaines études qui abordent des méthodologies qui ne seront pas employées pour l'élaboration du protocole expérimental de cette thèse.

4. D'autres questions relatives à l'effet de potentialisation motrice

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur d'autres questions importantes liées à l'effet de potentialisation. Afin de mieux comprendre l'ensemble de ces questions, nous allons réaliser une brève revue de la littérature relative à un certain nombre de points que nous estimons importants (i.e., la fenêtre temporelle, le contexte visuel, le type de décision relative à la tâche, la catégorie d'objets), car ils sont susceptibles de moduler l'effet de potentialisation. Nous présenterons également certaines études relatives à l'influence du traitement numérique, du son et des gestes articulatoires qui peuvent être exclusivement interprétés avec une approche par codage.

4.1. La fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation motrice

Certaines études suggèrent que l'effet de potentialisation se produit uniquement lorsque les stimuli sont présentés dans un délai bien déterminé. Makris et al. (2011) ont présenté des objets saisissables qui étaient soit petits (e.g., une clé, un couteau) généralement saisie avec une saisie fine ou grands (e.g., une chaise, une porte), généralement saisie avec une saisie puissante. Dans cette étude, les images apparaissaient d'abord en gris sur un fond blanc, ensuite le fond devenait jaune ou vert. Les participants ont été invités à effectuer une saisie puissante ou fine en fonction de la variation de la couleur. Les auteurs ont manipulé la durée d'affichage (i.e., SOA) des stimuli en couleur grise (i.e., 400, 800 et 1200 ms). Les résultats obtenus ont montré d'une part, un effet de potentialisation motrice, et d'autre part, la présence de cette interaction n'était signalée que lorsque les stimuli sont affichés pendant 400 ms. Aucun effet de potentialisation n'avait été obtenu à 800 ms et 1200 ms. Il est néanmoins intéressant de noter qu'Ellis et Tucker

(2000), rapportent quant à eux un effet de potentialisation pour un SOA de 700 ms. Makris et al. (2011) ont expliqué cette inconsistance par une différence entre leur protocole expérimental et celui d'Ellis et Tucker (2000). En effet, ces derniers utilisaient des objets réels alors que Makris et al. (2011) utilisaient des images d'objets. Selon la théorie de la « double conscience », il existe une différence significative entre la perception d'objets réels et d'images (Gibson, 1971 ; Yang et al., 1999). Lors de la perception d'un objet réel, les personnes sont capables de percevoir simultanément les propriétés bidimensionnelles et les caractéristiques tridimensionnelles de l'objet représenté, alors que cela ne se produit pas lors de la perception de l'image d'un objet. Par conséquent, la perception des images d'objets est plus rapide que celle des d'objets réels, car pour les images la personne a moins de caractéristiques à traiter.

Dans la seconde expérimentation de Makris et al. (2011), les participants ont reçu une stimulation à un niveau bien précis du cortex moteur primaire qui permet le contrôle des muscles spécifiques impliqués dans l'ouverture de la main en utilisant la stimulation magnétique transcrânienne (TMS), alors qu'ils devaient simplement regarder passivement les images d'objets. Le temps entre l'affichage visuel de l'objet et la délivrance de l'impulsion magnétique était variable (i.e., 300, 600 ou 900 ms). Au moment même où la stimulation magnétique transcrânienne était appliquée, les potentiels moteurs évoqués étaient enregistrés pour les deux muscles intrinsèques de la main (i.e., l'abducteur du cinquième doigt et le premier interosseux dorsal) avec électromyographie (EMG). Les résultats ont indiqué une interaction significative entre le type d'objet et le muscle de la main associé. Plus précisément, la perception d'un grand objet entraînait des potentiels moteurs évoqués plus importants au niveau des muscles associés à une saisie puissante, mais pas à un niveau significatif. En revanche, les muscles associés à une saisie fine ont montré des potentiels moteurs évoqués significativement plus élevés en réponse à des petits objets. Cependant, ces interactions se sont avérées significatives uniquement lorsque le temps entre l'affichage visuel de l'objet et l'impulsion magnétique était de 300 ms. L'effet n'était plus présent à partir de 600 ms. Ainsi, cette étude indique qu'à la suite de la perception d'une image d'objet, une réponse motrice compatible effectuée au-delà d'un délai de 600 ms ne permettrait pas l'émergence d'un effet de potentialisation.

Makris et al. (2013) ont approfondi leur étude sur la fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation. Ils ont analysé cet effet en comparant une condition de vision binoculaire à une autre monoculaire. Dans leur première expérience, les participants portaient des lunettes dont il était possible d'opacifier chaque verre indépendamment de l'autre. Au début de chaque essai,

les deux verres étaient opaques pendant que l'expérimentateur plaçait un objet réel saisissable grand (e.g., couteau) ou petit (e.g., pile) sur une éponge déposée devant le participant. Une fois que l'objet était mis en place, l'opacité des verres était supprimée pour un verre (vision monoculaire) ou pour les deux (vision binoculaire). Les participants devaient répondre, à l'aide d'un dispositif de réponse similaire à celui utilisé par Ellis et Tucker (2000), en fonction d'un stimulus auditif (i.e., grave vs. aigu). Les résultats de cette première expérience ont révélé un effet de potentialisation uniquement dans la condition de vision binoculaire. Dans leur deuxième expérience, Makris et al. (2013) ont examiné la fenêtre temporelle de cet effet. Après avoir perçu l'objet en vision binoculaire, les participants recevaient une stimulation dans leur cortex moteur primaire avec une stimulation magnétique transcrânienne (TMS) tout en regardant passivement les objets. Le temps entre l'affichage visuel de l'objet et l'impulsion magnétique était variable : 150, 300 ou 450 ms. Les résultats ont indiqué un effet de potentialisation uniquement lorsque le délai était de 300 ou 400 ms et non après un délai de 150 ms. Ainsi, il semblerait que lorsqu'une réponse motrice est effectuée en dessous d'un délai de 150 ms, l'effet de potentialisation motrice ne peut pas se produire.

Pris ensemble, ces travaux suggèrent que la fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation serait située entre 150 ms et 600 ms. Cette fenêtre est cohérente avec les résultats rapportés par Garcia et Ibanez (2016) qui ont suggéré quant à eux une fenêtre temporelle comprise entre 0 et 400 ms lorsque des noms d'objets saisissables ou des verbes d'action sont traités isolément (i.e., hors du contexte d'une phrase) et lorsque la tâche n'impliquait pas un accès conceptuel important (e.g., tâche de discrimination chromatique). Cette fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation semble assez similaire pour les noms d'objets ou les images. Ces données soutiennent que l'utilisation de simulation motrice pourrait être moins automatique que ce qui est prévu initialement.

4.2. Le contexte visuel module l'effet de potentialisation motrice

Dans les sections précédentes, nous avons discuté de nombreuses études comportementales qui suggèrent que le traitement conceptuel des objets manipulables présentés visuellement facilite certaines réponses motrices. Cependant, un même objet peut, dans certains cas, impliquer des actions différentes en fonction du contexte. Par exemple, un minuteur de cuisine peut être utilisé avec une saisie puissante pour le saisir et le déplacer, mais peut également être utilisé avec une saisie fine pour le programmer. Kalénine et al. (2013) ont voulu savoir si le contexte visuel dans lequel l'objet est présenté module le traitement conceptuel de ce dernier. Leurs participants

devaient catégoriser des images d'objets qui étaient présentées dans différents contextes visuels qui évoquent des actions liées au déplacement ou à l'utilisation de l'objet. Au début de chaque essai, une croix de fixation apparaissait au centre de l'écran. Ensuite, les participants devaient appuyer avec l'index de leur main gauche et maintenir une touche qui était disposée sur une boite de réponse. Cela déclenchait l'image d'une scène qui indiquait le contexte visuel. Les scènes visuelles représentaient un bureau, une cuisine ou une salle de bain dans lesquelles on pouvait distinguer cinq objets. Tout de suite après, un cadre rouge apparaissait autour de l'un des cinq objets indiquant l'objet cible. Après cette phase, un signal auditif indiquait au participant de dire si l'objet cible était naturel ou artificiel. Les participants devaient relâcher la touche de la boîte de réponse et exécuter une saisie puissante ou une saisie fine sur un dispositif de réponse cylindrique. Les résultats ont montré que même si les actions de réponse effectuées n'étaient pas pertinentes pour le jugement de catégorisation, les réponses de saisie fine étaient plus rapides lorsque les objets étaient présentés dans un contexte d'utilisation, alors que les réponses de saisie puissante étaient plus rapides lorsque les objets étaient présentés dans un contexte de déplacement. Par exemple, une minuterie de cuisine pourrait potentialiser une saisie fine si le contexte favorise un geste d'utilisation alors que ce même objet pourrait potentialiser une saisie puissante si le contexte favorise un contexte de déplacement, suggérant que l'effet de potentialisation motrice était modulé par le contexte visuel. En outre, ces résultats montrent que l'effet de potentialisation ne semble pas totalement automatique, comme le suggère les travaux sur la fenêtre temporelle du même effet, et semble dépendre de facteur contextuel susceptible de moduler le processus de simulation motrice. Par ailleurs, cette étude est cohérente avec le modèle de Barsalou (2008) qui suggère que le processus de simulation motrice peut dépendre du contexte dans lequel l'objet est présenté. Cette étude était la première à exposer l'influence de la scène visuelle (i.e., contexte) sur les effets de potentialisation motrice lors du traitement conceptuel des objets.

4.3. Le type de décision relative à la tâche module l'effet de potentialisation

D'après la littérature, différents travaux suggèrent que les effets de potentialisation sont sensibles au type de décision réalisé par les participants. Par exemple, les décisions relatives à la couleur des objets nécessitent moins de traitement d'informations concernant la forme ou la fonction de l'objet que les décisions relatives à sa catégorie fonctionnelle (e.g., un outil de cuisine ou de jardin), qui nécessitent une plus grande attention à l'objet de la part du participant. Ainsi, les expériences dans lesquelles les participants prenaient des décisions, sur la forme ou la fonction d'un objet, semblent produire des effets de potentialisation plus importants que ceux

issus d'expériences dans lesquelles les participants prenaient des décisions sans rapport avec la forme ou la fonction (Pellicano et al., 2018 ; Saccone et al., 2016 ; Tipper et al., 2006). Vraisemblablement, les décisions concernant la forme ou la fonction d'un objet augmentent la saillance (i.e., visibilité) des propriétés pertinentes associées à l'action, qui, à leur tour, amplifient les effets de potentialisation. Ainsi, il semble que l'effet de potentialisation n'est pas totalement automatique et nécessite que les décisions relatives à la tâche soient centrées sur des propriétés pertinentes pour l'action. Néanmoins, selon la littérature existante, des résultats contradictoires nous empêchent d'affirmer cela d'une manière définitive. Dans l'étude de Tipper et al. (2006), les participants devaient donner une réponse par rapport à la forme (i.e., rond vs. carré) ou à la couleur (i.e., bleu vs. vert) d'une poignée de porte qui était apparue sur un écran d'ordinateur. Ainsi, la moitié des participants discriminait la forme en ignorant la couleur, et l'autre moitié discriminait la couleur en ignorant la forme. Les résultats de cette expérience ont indiqué que lorsque les participants discriminaient la forme, des effets de potentialisation étaient observés alors que lorsqu'ils discriminaient la couleur, aucun effet n'a été observé (voir Saccone et al., 2016 pour un résultat similaire). De leur côté, Cho et Proctor (2013) ont répliqué le protocole de Tipper et al. (2006) en utilisant les mêmes stimuli (i.e., poignée de porte) et les mêmes décisions relatives à la tâche (i.e., forme vs couleur) que l'étude originale. De manière inconsistante, ils ont observé des effets de compatibilité uniquement lorsque les participants avaient effectué des décisions relatives à la couleur.

Garcia et Ibanez (2016) ont suggéré que des effets de potentialisation peuvent être trouvés lorsque la tâche concentre l'attention des participants sur des concepts, comme la catégorisation conceptuelle fréquemment utilisée (i.e., naturel vs. artificiel), mais pas lorsque les tâches ne nécessitent pas de traitement conceptuel de stimuli linguistiques (e.g., tâche de discrimination de couleur). Par ailleurs, la méta-analyse d'Azaad et al. (2019) a mis en évidence que l'effet de potentialisation de Tucker et Ellis (1998) était retrouvé lorsque la tâche était de nature conceptuelle, mais il était également signalé lorsque la tâche nécessitait juste un traitement de la couleur, et donc n'était pas de nature conceptuelle (e.g., Pellicano et al. 2010). Dans ce cadre nous tenons à rappeler que dans les études de Makris et al. (2011) et celle de Heurley et al. (2020), des effets de potentialisation ont été mis en évidence avec des tâches de discrimination de couleur (i.e., discrimination chromatique). Le problème central ici est qu'à l'origine les modèles sur l'effet de potentialisation indiquent que la simulation est censée être automatique. Cela signifie que, lorsqu'on lit un mot ou lorsqu'on voit une image, on est censé produire une simulation motrice sans forcément passer par un traitement conceptuel. Si le

traitement conceptuel est absolument nécessaire pour générer cette simulation, cela signifie que la simulation motrice n'est pas un processus aussi automatique, comme il est prédit initialement, (Barsalou, 2008) et nécessiterait une certaine intentionnalité. En conclusion, les études qui se sont intéressées aux décisions relatives à la tâche demeurent ambiguës mais laissent suggérer, à l'instar des travaux précédents, que même si l'effet de potentialisation motrice découle d'un processus de simulation, il ne semble pas si automatique.

4.4. Les objets artificiels et naturels

La dissociation entre les objets artificiels et les objets naturels semble aussi jouer un rôle dans l'émergence des effets de potentialisation. En effet, plusieurs études suggèrent que les objets artificiels activeraient des informations relatives à la manipulation et à la fonction des objets, alors que les objets naturels impliqueraient uniquement des informations de manipulation (Borghi et al., 2007 ; Costantini et al., 2011 ; Vainio et al., 2008). En outre, d'autres études suggèrent que pour les tâches de catégorisation, les objets artificiels sont traités plus lentement que les objets naturels (Borghi., 2012 ; Derbyshire et al., 2006 ; Flumini et al., 2014 ; Flumini et al., 2016 ; Vainio et al., 2008). Cette différence de temps de réponse entre les objets artificiels et naturels a été expliquée par le recrutement des ressources motrices supplémentaires lors du traitement des objets artificiels. En effet, les objets artificiels et les objets naturels diffèrent selon un certain nombre de facteurs. D'abord, les objets artificiels sont intrinsèquement liés à leur fonction alors que les objets naturels ne le sont pas. Ce phénomène se réfère à un biais cognitif qui limite une personne à utiliser un objet conformément à la manière dont il est traditionnellement utilisé. D'autre part, les objets naturels ne sont pas aussi clairs sur ces aspects. Donc, on peut supposer que les représentations des objets naturels dépendent largement des caractéristiques perceptives, alors que les objets artificiels peuvent dépendre davantage d'informations à propos de leur fonction (Warrington & McCarthy, 1987). Par exemple, les pommes et les poires qui sont des objets saisissables naturels diffèrent, par rapport à leur couleur, mais ils sont tous deux des aliments qu'on peut manger. Ils ont donc une fonction similaire. En revanche, une pelle, qui est un objet artificiel, est généralement utilisée pour creuser des trous alors qu'un balai qui est également un objet artificiel est utilisé pour le nettoyage. Ils ont donc des fonctions différentes, en plus d'avoir des différences au niveau perceptif.

Dans l'étude de Ferri et al. (2011), les participants devaient catégoriser les objets présentés visuellement (naturel vs. artificiel) à l'aide d'une saisie puissante ou d'une saisie fine.

En outre, ces objets étaient présentés à l'intérieur ou à l'extérieur de leur espace d'atteinte (i.e., espace péri-personnel). Les résultats indiquent un effet de potentialisation uniquement pour les objets artificiels situés dans l'espace accessible aux participants. Ce résultat révèle en conséquence deux éléments importants. Tout d'abord, il y aurait une différence entre les objets naturels et artificiels. Ensuite, il semble que les informations liées à l'action sont limitées dans l'espace puisqu'elles sont activées à condition que les objets artificiels soient situés à la portée du participant.

Dans la même veine, Godard et al. (2019) ont signalé une différence entre les objets naturels et artificiels. Dans leur étude, chaque essai commençait par un point de fixation au milieu d'un écran d'ordinateur. Ensuite, une image d'une main effectuant une saisie (i.e., saisie puissante ou saisie fine) était présentée ou alors l'image d'une main neutre (i.e., aucune saisie), suivie de l'affichage de l'image d'un objet. C'est à ce moment que le participant devait effectuer une catégorisation conceptuelle en indiquant le plus rapidement possible avec l'un des deux boutons d'un clavier si l'objet était naturel ou artificiel. Les résultats ont indiqué que la catégorisation conceptuelle était plus rapide après la perception de l'image d'une action de saisie que de l'image neutre mais uniquement pour les objets artificiels. En d'autres termes, l'image d'une action de saisie n'a eu aucun impact sur les objets naturels. Les auteurs ont suggéré que l'impact de l'action de saisie sur la catégorie d'objets peut être relié à la nature des informations motrices évoquées pendant le processus conceptuel de la visualisation de l'objet. Buxbaum et kalénine (2010) ont suggéré l'existence de deux types d'affordances stables (i.e., les affordances structurelles et les affordances fonctionnelles). Les affordances structurelles évoquent par exemple le geste associé à la saisie typique de l'objet alors que les affordances fonctionnelles évoquent le geste associé à l'utilisation typique de l'objet. Dans ce cadre, Godard et al. (2019) supposent que les actions de saisie, présentées dans leur protocole, sont stables et plus spécifiquement fonctionnelles. Ainsi, étant donné que les objets naturels ne sont pas généralement associés à des actions spécifiques, l'affordance fonctionnelle privilégie les objets artificiels. De ce fait, les résultats suggèrent que les informations reliées à l'affordance structurelle ne participent pas à la catégorisation conceptuelle contrairement aux informations reliées à l'affordance fonctionnelle. Dans le cadre de l'utilisation des stimuli linguistiques, certaines études ont rapporté des effets avec des mots qui désignent des objets artificiels (e.g., des outils) mais pas pour ceux désignant des objets naturels (e.g., des fruits et légumes) (e.g., Ferri et al., 2011 ; Flumini et al., 2015).

Ainsi, l'ensemble de ces travaux suggèrent qu'il semble y avoir une différence importante qui réside entre les objets naturels et les objets artificiels dans le sens ou les effets semblent plus prononcés et plus faciles à obtenir sur les objets artificiels que sur les objets naturels. De ce fait, ces études laissent paraitre encore une fois, que l'effet de potentialisation n'est pas totalement automatique car il semble dépendre de différentes variables.

4.5. Une influence des traitements numériques

D'autres types de travaux qui ont abordé les traitements numériques sont particulièrement intéressants dans le cadre d'une opposition théorique de la simulation et du codage. Car, ils permettent également de retrouver un effet de potentialisation tout en contrôlant la taille visuelle. Tout d'abord, dans le cadre des travaux qui ont traité des nombres, un lien entre les nombres et l'espace a été signalé (i.e., Effet SNARC). Par exemple, il est bien établi au niveau de la littérature que les personnes répondent plus rapidement à de grands chiffres si la réponse est effectuée à droite alors qu'ils répondent plus rapidement à de petits chiffres si la réponse est effectuée à gauche (Dehaene et al., 1993). Ensuite, une myriade de preuves expérimentales suggère que les représentations des nombres et des actions sont étroitement liées. En effet, les études de neuroimagerie ont identifié un chevauchement au niveau des aires pariéto-frontales pour les processus numériques et les actions de la main dirigées vers un but (Ruechert et al., 1996 ; Dehaene et al., 1996). De plus, les stimulations magnétiques transcrâniennes (TMS) ont révélé une excitabilité importante des circuits moteurs de la main lorsque les personnes effectuent des tâches de traitement numérique (Andres et al., 2007). Par ailleurs, l'étude de Butterworth (1999) suggère que les représentations numériques au niveau du cortex pariétal sont reliées aux processus de réponses des mains et des doigts qui seraient localisés dans les même aires cérébrales. Par ailleurs, Walsh (2003) a suggéré que les représentations de la magnitude non-symbolique sont localisées dans le cortex pariétal qui jouerait un rôle important dans la médiation de l'interaction entre les symboles numériques et les actions. Selon cette perspective, la représentation de la magnitude numérique pourrait émerger naturellement grâce au système d'actions qui transforme les informations visuelles des magnitudes physiques des objets dans une correspondance de réponse motrice. De cette façon, étant donné que ces magnitudes sont reliées à des transformations visuomotrice, qui sont effectuées au niveau de la voie visuelle dorsale, la représentation des nombres et des actions devraient converger dans un circuit neuronal commun au niveau du cortex pariétal.

En effet, Moretto et Pellegrino (2008) ont effectué deux expériences qui ont révélé une influence de la magnitude numérique sur les gestes de saisie. Dans leurs première expérience les participants ont effectué soit une saisie puissante, soit une saisie fine en fonction de la parité (i.e., pair ou impair) de chiffres arabes allant de 1 à 9 mis à part 5. Les réponses des participants étaient effectuées à l'aide du même dispositif qu'Ellis et Tucker (2000). Les résultats ont indiqué qu'une petite valeur numérique (i.e., 1, 2, 3 et 4) facilite une saisie fine alors qu'une grande valeur numérique (i.e., 6, 7, 8 ou 9) facilite une saisie puissante. De plus, le temps de réaction diminue au fur et à mesure que les magnitudes numériques augmentent. Cela indique que cet effet suit la même tendance linéaire que l'effet SNARC (Dehaene et al., 1993). Ensuite, dans une deuxième expérience, les auteurs réalisent quasiment la même procédure que leur première mis à part le fait que la tâche n'était plus un jugement de parité des nombres mais plutôt une tâche de discrimination chromatique qui consistait d'indiquer si le chiffre présenté à l'écran était ''Bleu'' ou ''Rouge''. Contrairement à la tâche de jugement de parité qui requière que le participant accède aux informations conceptuelles des nombres, la tâche de discrimination chromatique ne nécessite pas que le participant effectue un traitement numérique poussé, elle fait donc appel à des processus automatiques. Les résultats obtenus dans leur deuxième expérience sont similaires à ceux obtenus dans leur première. Cela suggère que même si la tâche ne nécessite pas de traitement de la grandeur numérique d'une manière explicite, ou d'accéder à une représentation conceptuelle des nombres, leur deuxième expérience a démontré clairement que la simple présentation de stimuli numériques symboliques peut activer automatiquement les représentations motrices qui interagissent avec la sélection des mouvements de saisie spécifiques de la même manière que la perception d'objets saisissables (e.g., pomme).

Cependant, les résultats de cette étude peuvent être interprétés avec une perspective de codage même si, à notre connaissance, il n'y a aucune étude dans la littérature qui met en évidence une telle possibilité. En effet, selon une approche par codage de taille, la perception d'un petit nombre (e.g., 1,2,3 ou 4) pourrait automatiquement induire l'activation d'un code de petite taille grâce à la taille conceptuelle du nombre (i.e., petite), alors que la perception d'un grand nombre (i.e., 6,7,8 ou 9) pourrait automatiquement induire l'activation d'un code de grande taille grâce à la taille conceptuelle du nombre (i.e., grande). D'un autre côté, étant donné que les deux dispositifs de réponses diffèrent par rapport à la taille visuelle, cela peut favoriser le codage des réponses. Ainsi, la réponse de saisie puissante pourrait induire automatiquement l'activation d'un code de grande taille, du fait de sa grande taille visuelle alors que la réponse

de saisie fine pourrait induire l'activation d'un code de petite taille, du fait de sa petite taille visuelle. De cette manière, un effet de potentialisation pourrait être produit avec les nombres s'il y'a une correspondance entre les codes de taille conceptuelle et visuelle selon l'approche par codage de taille. En outre, selon une approche par codage de polarité, étant donné que les nombres diffèrent par rapport à la dimension conceptuelle, un codage de polarité des stimuli pourrait se mettre en place. De ce fait, un code de polarité positif "+" pourrait être attribué aux grands nombres (i.e., 6,7,8 et 9) alors qu'un code de polarité négatif "-" pourrait être attribué aux petits nombres (i.e., 1,2,3 et 4). De plus, étant donné que les réponses diffèrent par rapport à la dimension perceptive, du fait que le dispositif de réponse de saisie puissante est visuellement plus grand que le dispositif de réponse de saisie fine, un code de polarité positif "+" pourrait être attribué à la réponse de saisie puissante alors qu'un code de polarité négatif "-" pourrait être attribué à la réponse de saisie fine. Ainsi, un effet de potentialisation pourrait être produit avec les nombres s'il y'a une correspondance de polarité (i.e., ++ ou --) entre le code assigné au nombre et le code assigné à la réponse.

Dans une autre étude, Lindemann et al. (2007) ont également cherché à savoir si le traitement numérique de la magnitude affecte les réponses motrices. Les auteurs ont réalisé trois expériences. Dans leur première expérience, chaque essaie commençait par la présentation d'une croix de fixation grise et, dès que le participant plaçait sa main dans la position de départ, la croix devenait noire. Ensuite, un chiffre arabe était présenté à l'écran (i.e., 1, 2, 5, 8 ou 9). Le participant devait réaliser une saisie fine ou une saisie puissante en fonction de la parité des nombres. La saisie puissante était réalisée avec toute la main sur la grande partie du dispositif de réponse alors que la saisie fine était réalisée avec le pouce et l'index sur la petite partie (voir Figure 8). Cependant, dans le cas où le chiffre 5 était présenté, le participant devait s'abstenir de répondre (i.e., condition no-go). Il est à noter que le chiffre cible disparaissait dès le début du mouvement de saisie. Les résultats ont indiqué un effet de potentialisation motrice. Les réponses à de grands chiffre (i.e., 8 et 9) étaient effectuées plus rapidement à l'aide d'une saisie puissante alors que les réponses à de petits chiffres (i.e., 1 et 2) étaient plus rapides à l'aide d'une saisie fine.

Dans leur deuxième expérience, les auteurs ont utilisé quasiment la même procédure que leur première expérience mis à part que les participants devaient réaliser un mouvement de pointage vers la petite ou grande section du dispositif pour indiquer la parité du chiffre. Aucun effet de potentialisation n'a été signalé. Dans la troisième expérience, les auteurs répliquent leur première expérience mis à part que cette fois le type de saisie réalisé sur les différentes parties

du dispositif était contrôlée. Ainsi, les participants devaient répondre à l'aide d'une saisie mobilisant le pouce et l'index aussi bien sur la grande que sur la petite partie du dispositif. Ainsi, dans cette expérience, les auteurs manipulaient l'ouverture de la main plutôt que le type de saisie en tant que tel. Les résultats de cette troisième expérience ont indiqué un effet de potentialisation similaire à celui obtenu lors de leur première expérience suggérant que les traitements numériques affectent spécifiquement l'ouverture de la main.

Par ailleurs, une interprétation des résultats de l'étude de Lindemann et al. (2007) avec une perspective de codage est possible. Pour l'interprétation de leur première expérience selon une perspective de codage : voir l'interprétation effectuée pour l'expérience de Moretto et Pellegrino, (2008). En revanche, la deuxième expérience de Lindemann et al. (2007) dans laquelle aucun effet de facilitation n'a été signalé, alors que les participants devaient réaliser un mouvement de pointage vers la petite ou grande section du dispositif pour indiquer la parité du chiffre, est difficile à expliquer avec une approche de codage. Néanmoins, il est possible que la mise en place de processus de codage avec des mouvements de pointage ne soit pas possible. En effet, dans le cas des mouvements de pointage, les participants n'atteignent pas la cible ce qui pourrait perturber leurs codages. Par ailleurs, dans leur troisième expérience les auteurs retrouvent l'effet de potentialisation obtenu lors de leur première expérience alors qu'ils avaient contrôlé le type de saisie (i.e., même type de saisie effectuer sur la grande et la petite section du dispositif). Selon une perspective de codage, il est possible que les participants codent leurs réponses sur la base de la taille du dispositif à saisir indépendamment de la saisie à réaliser (voir Heurley et al. 2020). Néanmoins, étant donné que l'ouverture de la main diffère également entre les deux situations, aucune affirmation définitive ne peut être avancée.

En somme, ces études qui ont utilisé des nombres vont dans le sens de l'approche par codage et supportent l'idée qu'il peut y avoir une compatibilité entre des codes basés sur la taille conceptuelle (i.e., nombre) et des codes basés sur la taille perceptive (réponse).

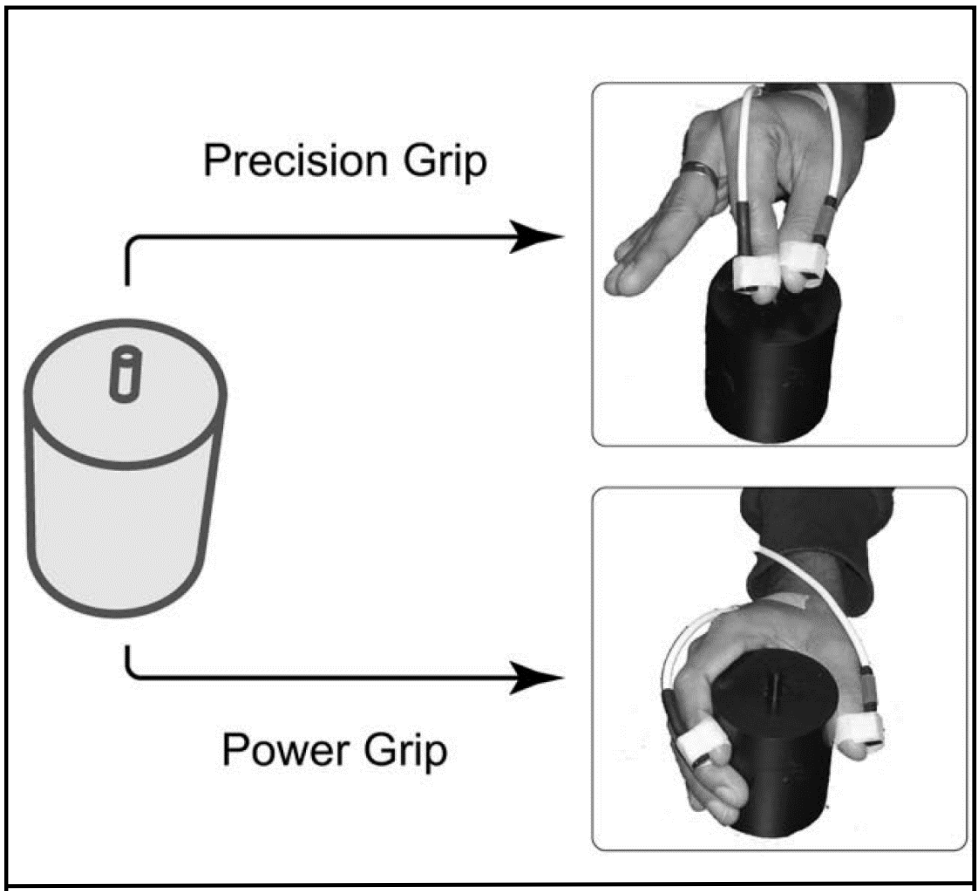


Figure 10. Dispositif de réponse de Lindemann et al. (2007).

4.6. Une influence du son

Plusieurs études ont porté sur les correspondances existantes entre l'audition et la vision (e.g., Marks, 2004 ; Parise & Spence, 2013). A titre d'exemple, les sons aigus sont associés à des stimuli visuels petits, alors que les sons graves sont associés à des stimuli visuels plus grands. Dans l'étude de Rinaldi et al. (2015), une série d'expériences était réalisée pour vérifier si les gestes moteurs pouvaient être modulés par un stimulus auditif. Ils ont demandé aux participants d'effectuer des actions de saisie (i.e., saisie puissante vs. saisie fine) amorcées par des sons (i.e., aigue vs. grave). Le dispositif de réponse était un objet en bois qui comportait deux sections cylindriques assemblées de différentes tailles (i.e., une grande vs. une petite). La première expérience a montré que les saisies fines, réalisées sur la petite section de l'objet, étaient effectuées plus rapidement en réponse à des sons aigues alors que les saisies puissantes, réalisées sur la grande section de l'objet, étaient effectuées plus rapidement en réponse à des sons graves. Dans une seconde expérience, les chercheurs ont demandé aux participants de

pointer avec leur index vers la grande ou la petite section du dispositif de réponse et s'arrêter à 1 cm sans la saisir. Aucun effet de facilitation n'était observé dans cette expérience. Dans une troisième expérience, les participants devaient faire un mouvement de saisie sur un petit ou un grand objet qui était dissocié contrairement à leur première expérience, et qui était présenté dans deux blocs séparés. Les résultats de cette troisième expérience ont indiqué une absence d'effet de facilitation.

Même si ces expériences ne peuvent pas être expliquées avec une approche par codage de taille car les stimuli auditifs ne peuvent pas être codés, ni selon leur taille visuelle, ni selon leur taille conceptuelle, une explication basée sur une approche par codage de polarité est possible. En effet, dans leur première expérience, un code de polarité positif "+" pouvait être attribué au son grave alors qu'un code de polarité négatif "-" pouvait être attribué au son aigu, car les deux types de son (i.e., aigu vs. grave) diffèrent selon la dimension auditive. De la même manière, étant donné que les deux sections de l'objet en bois diffèrent par rapport à la dimension perceptuelle, la grande section (i.e., grande) pouvait être codée par un code de polarité positif "+" alors que la petite section (i.e., petite) pouvait être codée par un code de polarité négatif "-". De cette façon, lorsqu'il y'avait une correspondance de polarité (i.e., ++ ou --) entre les stimuli auditifs et les sections de l'objet un effet de potentialisation pouvait se produire. Cependant, lorsqu'ils ont utilisé, dans leur deuxième expérience, une tâche de pointage vers les différentes sections de l'objet au lieu des mouvements de saisie, aucun effet de facilitation n'a été observé. Ce dernier résultat s'accommode difficilement avec l'approche par codage. Néanmoins, il est envisageable que le codage n'a pas pu se produire car dans cette expérience le participant devait effectuer un mouvement de pointage vers l'une des sections de l'objet (i.e., grande ou petite) avec le même doigt et ce mouvement devait s'arrêter à 1 cm avant d'atteindre la cible, ce qui pouvait perturber le processus de codage par le fait que les sections de l'objet ne seraient pas bien prises en compte. En revanche, l'absence d'effet de facilitation dans leur troisième expérience peut s'expliquer par une perspective de codage. En effet, dans cette expérience les participants devaient effectuer une réponse de saisie sur un petit et un grand objet qui étaient dissociés et présentés dans deux blocs différents, ce qui ne permet pas aux réponses d'être comparées l'une à l'autre en annulant leur codage, ce qui est conforme avec l'hypothèse de discrimination de réponse. Ainsi, l'effet de potentialisation semble ne pas se limiter uniquement à des stimuli évoquant des objets manipulables comme des images d'objets, noms d'objets, ou encore des odeurs et des goûts qui peuvent être associés à des objets. Dans la dernière expérience présentée, des sons qui n'évoquent pas des objets ont réussi à générer des

effets de facilitations, ce qui est cohérent avec l'approche par codage qui suggère que les effets de potentialisation des gestes de saisie ne se limitent pas à des stimuli associés à des actions mais peuvent être également retrouvés pour des stimuli plus abstraits. Par exemple, dans l'étude de Heurley et al. (2023) des images qui représentent des tâches d'encre (grande vs. petite) ont été présentées aux participants qui devaient réaliser une tâche de catégorisation chromatique (orange vs. bleu) à l'aide d'une saisie puissante ou fine. Malgré le fait que ces formes n'étaient pas associées à une forme de saisie spécifique, un effet de potentialisation motrice a été obtenu.

4.7. Une influence des gestes articulatoires

Il a été suggéré qu'il existe des liens étroits entre la planification des actions d'ouverture de la bouche et de la main. Plus précisément, certains gestes articulatoires semblent systématiquement liés à différents types de saisie. La zone cérébrale qui serait impliquée dans ces interactions se trouve dans la région de Broca (i.e., les aires de Brodmann 44 et 45 dans le gyrus frontal inférieur gauche). Dans cette région, les buts d'actions (i.e., primitives gestuelles) des mouvements de la bouche et de la main seraient conjointement représentés (Fogassi et al., 2005). En outre, il y aurait également un chevauchement fonctionnel et anatomique entre les processus de la parole et les processus manuels (Stout & Chaminade, 2012 ; Greenfield, 1991). Cette hypothèse est soutenue par des preuves comportementales récentes. A ce propos, Tiainen et al. (2016) et Vainio et al. (2013) ont montré la possibilité de trouver un effet de potentialisation motrice via l'articulation simultanée d'une syllabe. Par exemple, les réponses de saisie fine étaient effectuées plus rapidement lorsque les participants devaient articuler la syllabe « ti » qui implique une faible ouverture de la bouche alors que les réponses de saisie puissante étaient effectuées plus rapidement lorsque les participants devaient articuler la syllabe « ka » qui implique une plus grande ouverture de la bouche. Ces résultats sont très intéressants, car ils ont démontré la complexité de l'effet de potentialisation qui, comme dans le cas des sons et des nombres, ne découle pas toujours de concept d'objets. En outre, il est intéressant de noter que l'étude de Vainio et al. (2014) a répliqué les résultats précédemment présentés en leur rajoutant un autre aspect. En effet, ces auteurs ont démontré que la simple lecture des syllabes « ti » et « ka » de manière silencieuse était suffisante afin d'entraîner un effet similaire.

Il est important de noter que là aussi, une explication en termes de codage peut être avancée. L'articulation de la syllabe « ka », qui implique une ouverture importante de la bouche, pourrait être codée par un code de polarité positif "+" alors que l'articulation de la syllabe « ti », qui implique une ouverture plus petite de la bouche, pourrait être codée par un

code de polarité négatif "-". Comme déjà évoqué, un code de polarité positif "+" pourrait être attribué à la saisie puissante alors qu'un code de polarité "-" pourrait être attribué à la saisie fine sur la base par exemple de la taille du bouton à activer ou sur la base de l'ouverture de la main nécessaire. Ainsi, lorsqu'il y'avait une correspondance de polarité (i.e., ++ ; --) entre les syllabes et les réponses, un effet de potentialisation motrice pouvait se produire.

A la suite de cette revue de littérature, certains travaux semblent plus en accord avec une approche simulationniste alors que d'autres sont en accord avec une approche par codage. En effet, les travaux sur le langage, les odeurs et les goûts sont au premier abord, en faveur d'une approche simulationniste, car ils permettent un contrôle de la taille visuelle et qu'une simulation motrice est possible avec ces stimuli, même si une interprétation de ces travaux, selon une perspective de codage grâce à la taille conceptuelle, est envisageable. En revanche, les travaux sur les traitements numériques, les sons et les gestes articulatoires sont peu cohérents avec une approche simulationniste, car une simulation motrice n'est pas possible avec ces stimuli et sont plus en faveur d'une approche par codage puisqu'une explication de codage peut être avancée. Par ailleurs, les travaux sur le langage, les odeurs, les goûts et les nombres peuvent être cohérents avec une approche par codage de taille, car le codage de ces stimuli est possible grâce à la taille visuelle ou conceptuelle, mais ils sont également cohérents avec une approche par codage de polarité. Quant aux travaux sur les sons et les gestes articulatoires, ils semblent uniquement en faveur d'une approche par codage de polarité.

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons effectué une revue de la littérature relative aux études expérimentales sur l'effet de potentialisation. L'objectif central est de mieux cerner la problématique sous-jacente à l'explication de l'effet sur le plan expérimental avec certains travaux rapportant des résultats plutôt en faveur d'une approche par simulation, et d'autres une approche par codage. Pris ensemble, ces travaux pointent vers la nécessité de réaliser des expériences spécifiques afin de trancher entre ces deux hypothèses explicatives. En outre, cette revue de littérature, nous a permis de détecter que la taille visuelle des objets utilisés est un facteur confondu. Cela nous empêche de savoir si l'effet de potentialisation est dû à la récupération de la taille conceptuelle (i.e., simulation) de l'objet ou plutôt de sa taille visuelle (i.e., codage). Etant donné que la taille conceptuelle des objets est plutôt quelque chose de stable, faire varier la taille visuelle en présentant les grands et les petits objets dans une même taille, peut-être une très bonne piste pour nous aider à répondre à notre problématique. Nous avons également traité d'autres aspects reliés à l'effet de potentialisation que nous considérons comme importants (e.g., la fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation, le type de décision relative à la tâche), car ils nous permettent de connaitre tous les rouages de cet effet, ce qui nous sera utile pour établir un protocole expérimental adéquat et mieux comprendre la nature des processus engagés.

LES HYPOTHÈSES DE LA THÈSE

IV. LES HYPOTHÈSES DE LA THÈSE

Toutes les études exposées antérieurement montrent bien le doute quant à la nature des processus cognitifs en mesure d'expliquer l'effet de potentialisation des comportements de saisie. Certains chercheurs et travaux défendent une approche simulationniste alors que d'autres supportent plutôt une approche par codage. Il est clair que des études expérimentales supplémentaires doivent être menées pour mieux appréhender la nature exacte des processus en jeu et déterminer laquelle des deux approches est la plus pertinente, ou s'il est nécessaire de conserver les deux approches théoriques pour rendre compte de la multitude des effets rapportés. Dans cette partie, nous exposerons sept hypothèses spécifiques que ce travail de thèse cherchera à mettre à l'épreuve.

1. Première hypothèse : L'importance de la taille visuelle

Contrairement à l'approche simulationniste, l'hypothèse de codage de la taille suggère que l'effet de potentialisation motrice ne serait pas imputable à la composante motrice de la simulation des objets manipulables mais plutôt à une information sur la taille de ces objets. Dans l'étude originale d'Ellis et Tucker (2000), ainsi que dans plusieurs réplications ultérieures (e.g., Glover et al., 2004 ; Grèzes et al., 2003 ; Makris et al., 2011 ; Taylor & Zwann, 2010 ; Tucker & Ellis, 2004), les objets associés à une saisie fine et ceux associés à une saisie puissante différaient par rapport à leur taille visuelle. Plus précisément, les objets habituellement associés à une saisie fine (e.g., une cerise) étaient, en général, visuellement plus petits que les objets habituellement associés à une saisie puissante (e.g., une pomme). Ainsi, l'effet de potentialisation motrice pourrait dépendre de cette simple caractéristique visuelle de bas niveau indépendamment de l'objet qui serait représenté.

Dans ce cadre, les stimuli linguistiques peuvent être très utiles pour nous aider à déterminer si réellement l'effet de potentialisation motrice dépend de la taille visuelle. En effet, les mots qui représentent des objets saisissables (i.e., nom d'objets) permettent un contrôle méthodologique de la taille visuelle ; car il est possible de contrôler la taille visuelle (e.g., la longueur) des noms utilisés. Donc, pour essayer de vérifier les prédictions de l'hypothèse par codage de la taille, notre première piste est d'utiliser des mots qui désignent des objets saisissables. Ensuite, notre deuxième piste consiste à varier la taille visuelle dans laquelle les images des objets sont présentées. Autrement dit, au lieu de présenter les objets associés à une saisie fine dans une petite taille visuelle et ceux associés à une saisie puissante dans une grande taille visuelle, nous uniformiserons la taille visuelle de ces objets.

Nous avons utilisé cette stratégie de contrôle de la taille visuelle dans nos articles 1, 2 et 3 qui seront présentés dans la section de notre travail expérimental. Dans ce cadre, l'approche simulationniste prédit un effet de potentialisation avec les noms et les images d'objets présentés dans une taille visuelle égalisée. Cela est envisageable, car la théorie simulationniste (Barsalou, 2008) stipule que la simple perception de noms ou d'images d'objets dans une taille visuelle égalisée est suffisante pour induire une simulation motrice qui peut produire un effet de potentialisation. Alors que l'approche par codage (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015) prédit uniquement un effet de potentialisation lorsque la taille visuelle permet de distinguer les objets associés à une saisie fine et ceux associés à une saisie puissante. En d'autres termes, en l'absence d'une différence de la taille visuelle des images présentées, qui permet cette distinction, aucun effet de potentialisation ne devrait apparaitre. Ainsi, l'approche par codage prédit uniquement un effet de potentialisation sur des images d'objets présentés dans leur taille visuelle réelle mais pas lorsque ces même images ou noms d'objets sont présentés dans une taille visuelle égalisée.

2. Deuxième hypothèse : L'effet de potentialisation motrice peut être induit avec une approche par codage de polarité

L'approche par codage de polarité (Proctor & Cho, 2006) défend l'idée que le code permettant à l'effet de potentialisation d'être obtenu n'est pas spécifiquement un code de taille mais un code plus général (i.e., positif "+" vs. négatif "-"). Ainsi, ce n'est pas la taille visuelle qui serait directement responsable de l'effet, mais celui-ci serait médiatisé par un code de polarité qui peut découler d'un recodage de la taille visuelle et probablement d'autres types de codes en code de polarité. Dans ce cadre, un effet de potentialisation avec des images d'objets présentés en taille réelle semble possible avec cette approche, si par exemple, les images présentées diffèrent par rapport à la dimension perceptive. En revanche, pour les mots qui représentent des objets saisissables (noms d'objets), leur codage selon une approche par codage de polarité, n'est pas garanti. En effet, le modèle initial de Proctor et Cho (2006) suggère que cela est possible, si par exemple les mots présentés représentent des grands objets saisissables (e.g., pomme, poire) et des petits objets saisissables (e.g., fraise, cerise), car dans ce cas, les stimuli diffèrent par rapport à la dimension conceptuelle. Cependant, il est probable que le type de décision relative à la tâche utilisée conditionne le traitement conceptuel engagé impactant le codage de polarité. En effet, les tâches de discrimination chromatique (i.e., décisions relatives à la couleur des mots) impliquent des traitements ne nécessitant pas nécessairement un accès conceptuel suffisant. Cela est différent d'une tâche de catégorisation conceptuelle consistant,

par exemple, à déterminer si l'objet vu est un outil de cuisine ou de jardin impliquant un accès conceptuel nécessaire.

Dans ce cadre, l'utilisation des nombres peut être un bon moyen pour tester expérimentalement cette possibilité. En effet, l'utilisation des nombres permet de contrôler la taille visuelle et de s'assurer, dans le cas d'obtention d'un effet de potentialisation, qu'il ne pourra pas être imputable à la taille visuelle et donc ne sera pas en faveur d'un codage de taille. Néanmoins, un codage des nombres avec une approche par codage de taille basé sur la taille conceptuelle reste envisageable, même si aucune preuve au niveau de la littérature ne suggère cette possibilité. D'ailleurs, la théorie par codage de taille initiale (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015) ne prend en compte que la taille visuelle. En effet, il est possible qu'à la suite de la perception des nombres (e.g., 1000 vs. 1), un codage de polarité se mette en place, si les stimuli présentés diffèrent par rapport à la dimension conceptuelle. Ainsi, un code de polarité positif "+" pourrait être attribué au grand nombre (e.g., 1000) alors qu'un code de polarité négatif "-" pourrait être attribué au petit nombre (e.g., 1). De cette manière, un effet de potentialisation pourrait être obtenu dans le cas d'une correspondance de polarité (i.e., ++ ou --) entre le code de polarité attribué au nombre et le code de polarité attribué à la réponse.

3. Troisième hypothèse : Les verbes d'action peuvent faciliter la production d'un effet de potentialisation motrice pour des mots

Plusieurs preuves comportementales (e.g., Boulenger et al., 2008 ; Fargier et al., 2012 ; Fernandino et al., 2013 ; Glenberg & Kaschak 2002) et de neuroimagerie (e.g., Hauk et al., 2005 ; Moreno et al., 2013 ; Willems et al., 2010) suggèrent que les verbes d'action sont capables de moduler le système moteur. En outre, certaines études ont réussi à obtenir un effet de potentialisation lorsque des stimuli linguistiques ont été présentés dans le contexte d'une phrase avec une tâche qui ne requière pas un processus conceptuel (e.g., Aziz-zadeh et al., 2006 ; Buccino et al., 2005) suggérant qu'un processus de simulation motrice peut se mettre en place automatiquement avec des stimuli linguistiques présentés dans une phrase qui contient un verbe d'action. De ce fait, étant donné qu'il semble compliqué d'obtenir un effet de potentialisation avec des mots (e.g., noms d'objets), lorsqu'on les présente d'une manière isolée, il est possible que lorsqu'ils sont précédés par un verbe d'action, un effet de potentialisation motrice peut se mettre en place avec des mots.

Afin de tester expérimentalement cette possibilité, nous avons utilisé un verbe d'action (i.e., SAISIR), ainsi qu'un verbe qui pourrait permettre l'accès à des micro-affordances (i.e.,

VOIR), qui seront présentés juste avant l'affichage des noms d'objets (e.g., pomme ; fraise). Un non-mot (i.e., EXLER) sera présenté à la place des verbes en condition contrôle. Dans ce cadre, l'approche simulationniste et celle par codage font des prédictions différentes, ce qui pourrait éventuellement nous aider à trancher entre ces deux approches. En effet, l'approche simulationniste peut prédire la production d'un effet de potentialisation lorsque les mots (i.e., noms d'objets) sont précédés par le verbe "SAISIR", qui évoque une action de saisie, plutôt que le verbe "VOIR" ou le non-mot "EXLER" qui n'évoque pas d'action manuelle. Il est aussi concevable, selon une approche simulationniste, de prédire un effet de potentialisation lorsque les mots sont précédés par le verbe "SAISIR" et "VOIR" et non pas par le non-mot "EXLER". Car, certains auteurs (Ellis & Tucker, 2000 ; Tucker & Ellis, 2001) suggèrent que la simple perception visuelle d'un objet saisissable est suffisante pour induire un effet de potentialisation (i.e., micro-affordances). En revanche, l'approche par codage ne prédit aucune modulation de l'effet de potentialisation à la suite de la perception des verbes (i.e., SAISIR et VOIR). Ainsi, si aucun effet de potentialisation n'est observé lorsque les mots sont précédés par un verbe d'action, cela fournira une preuve en faveur d'une approche par codage.

4. Quatrième hypothèse : l'approche par codage de taille pourrait dépendre de la taille conceptuelle

Initialement, l'approche par codage de la taille défend l'idée que les stimuli et les réponses peuvent être codés par rapport à leur taille visuelle. Néanmoins, il est envisageable qu'un codage de la taille puisse également découler de la taille conceptuelle. Selon cette perspective la taille visuelle et la taille conceptuelle permettraient l'accès à un code unique (i.e., un code de taille). Afin de tester expérimentalement cette possibilité nous allons utiliser des adjectifs (i.e., grand vs. petit) pour voir si ces stimuli sont en mesure de générer des codes de taille sur la base de leur taille conceptuelle (voir Gentilucci et al., 2000 pour des résultats cohérents avec cette idée).

5. Cinquième hypothèse : Les adjectifs (i.e., "grand" vs. "petit") et les nombres (i.e., "1000" vs. "1") peuvent induire un effet de potentialisation sur des mots avec un processus de transfert de code dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse

Dans le cadre d'un paradigme stimulus-stimulus-réponse[1] notre objectif est de tester la possibilité d'un transfert de code via des nombres (i.e., 1000 vs. 1) et des adjectifs (i.e., grand vs. petit) qui pourrait induire un effet de potentialisation motrice sur des mots (i.e., noms d'objets). Afin de tester expérimentalement cette possibilité il est nécessaire d'utiliser des mots (i.e., noms d'objets) avec lesquels un effet de potentialisation n'a pas été obtenu lorsqu'ils étaient présentés isolément. L'idée principale est de présenter des nombres (i.e., 1000 vs. 1) et des adjectifs (i.e., grand vs. petit) juste avant l'affichage des mots (i.e., amorce). Dans ce cas, l'approche par codage et l'approche simulationniste font des prédictions différentes.

Selon l'approche par codage, un transfert de codes est envisageable à la fois dans le cas de l'approche par codage de taille et celle de polarité. Tout d'abord, l'approche par codage de taille peut prédire un effet de potentialisation sur les mots avec l'utilisation des nombres (i.e., 1000 vs. 1) et des adjectifs (i.e., grand vs. petit) grâce à un transfert de code de taille (i.e., grand vs. petit) par le biais de leur taille conceptuelle. Ainsi, à la suite de l'attribution d'un code de taille au premier stimulus (i.e., adjectifs ou nombres - amorce), ce code pourrait être ensuite transféré au deuxième stimulus (i.e., noms d'objets - cible). De cette manière, un effet de potentialisation pourrait être obtenu dans le cas d'une correspondance de code de taille (i.e., grand/grand ou petit/petit) entre le code de taille transféré au deuxième stimulus (i.e., noms d'objet) et le code de taille attribué à la réponse. De manière similaire, l'approche par codage de polarité peut également prédire un effet de potentialisation, dans ce cas, par le biais d'un transfert de codes de polarité (i.e., positif "+" vs. négatif "-") des nombres et des adjectifs vers les noms d'objets.

En revanche, l'approche simulationniste ne prédit aucun effet de potentialisation, car les adjectifs et les nombres utilisés n'évoquent aucune action spécifique et donc ne devraient pas produire une simulation motrice. Ainsi, dans ce protocole expérimental, l'approche par codage prédit un effet de potentialisation avec les nombres et les adjectifs par le biais d'un transfert de

[1] Nous avons choisi de qualifier ce type de protocole de « stimulus-stimulus-réponse » pour deux raisons. Premièrement, nous aurions pu le qualifier de « protocole d'amorçage », mais le problème est qu'il y a ici deux amorces en réalité. D'abord, il y a un adjectif ou un nombre présenté en noir (amorce 1) qui sera suivi du nom de l'objet présenté également en noir (amorce 2) qui sera enfin suivi du nom de l'objet en orange ou en bleu (cible). Afin d'éviter de confondre l'amorce 1 et l'amorce 2, nous avons choisi d'éviter une telle appellation. Deuxièmement, l'appellation « stimulus-stimulus-réponse » permet de conserver l'idée d'un protocole de compatibilité stimulus-réponse.

code (i.e., de taille ou de polarité) sur les noms d'objets alors que l'approche simulationniste ne prédit aucun effet de potentialisation.

6. Sixième hypothèse : L'importance d'une tâche de discrimination chromatique

Dans le cadre de l'effet de potentialisation motrice, la décision relative à la tâche à laquelle le participant doit répondre doit être prise en compte. En effet, même si la théorie simulationniste de base (Barsalou, 2008) suggère que le processus de simulation motrice est automatique, d'autres travaux (e.g., Saccone et al., 2016 ; Tipper et al., 2006) suggèrent que l'effet dépend de la tâche et ne peut être mis en œuvre qu'avec des tâches impliquant un niveau de traitement « conceptuel ». En d'autres termes, l'approche simulationniste laisse ouverte la possibilité que le processus de simulation motrice ne soit pas totalement automatique. En revanche, l'approche par codage suppose que le codage est automatique et peut donc se produire avec n'importe quel type de tâche, qu'il soit conceptuel ou non (e.g., tâche de discrimination chromatique). Par exemple, l'effet Simon qui est classiquement un résultat expérimental en faveur d'une approche par codage est systématiquement obtenu alors que la tâche porte sur la couleur des stimuli (pour une revue voir, Proctor & Vu, 2006). Cela suggère qu'un traitement conceptuel poussé n'est pas nécessaire pour observer un effet de potentialisation dans une approche par codage. En conséquence, dans nos travaux expérimentaux, nous utiliserons constamment une tâche de discrimination chromatique (i.e., tâche de catégorisation de la couleur) afin de pouvoir mieux distinguer entre les deux approches (i.e., approche par codage vs. approche simulationniste).

7. Septième hypothèse : L'importance de SOA

Le SOA (i.e., le temps de présentation de l'amorce en noir ou en dégradé de gris) est un facteur important qui doit être pris en compte dans le cadre d'une investigation sur l'effet de potentialisation. En effet, l'approche par codage ne prédit pas une fenêtre temporelle spécifique pour l'effet de potentialisation, car le codage ne semble pas être un processus limité dans le temps (Proctor et al., 2011), alors que l'approche simulationniste suggère que l'effet de simulation motrice serait transitoire et se produirait uniquement lorsque le stimulus est affiché pendant 400 ms (Makris, 2011, 2013). Il est néanmoins possible que l'effet arrive en deçà, dès 200 ms (Tucker & Ellis, 2001). En conséquence, afin de distinguer entre les deux approches (i.e., approche simulationniste vs. par codage), nous manipulerons la durée du SOA permettant de comparer l'effet de potentialisation, dans et en dehors, de cette fenêtre temporelle.

L’approche par codage prédit un effet sur trois délais (i.e., 200, 400 et 800 ms) alors que l’approche simulationniste prédit un effet uniquement sur deux délais (i.e., 200 et 400 ms).

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté les hypothèses spécifiques qui seront mises à l’épreuve. Pour pouvoir les tester, nous avons élaboré un protocole expérimental ayant plusieurs spécificités méthodologiques. Nous avons utilisé des stimuli linguistiques permettant un contrôle méthodologique de la taille visuelle des stimuli. Nous avons uniformisé la taille visuelle des objets en présentant les grands et les petits objets dans une même taille visuelle. Dans le cas où un effet de potentialisation n’est pas obtenu lorsque la taille visuelle est contrôlée, cela sera en faveur de l’approche par codage. Nous avons également utilisé un verbe d’action (i.e., saisir) qui sera présenté juste avant l’affichage d’un nom d’objet. De cette façon, si le verbe module l’effet de potentialisation, cela sera en faveur de l’approche simulationniste. Par ailleurs, nous avons présenté un nombre (i.e., 1000 vs. 1) ou un adjectif (i.e., grand vs. petit) qui propose une grande ou une petite taille conceptuelle juste avant l’affichage d’un mot qui représente un objet saisissable. Si un effet de potentialisation est obtenu, cela serait dû à un transfert de code, ce qui sera en faveur de l’approche par codage. Dans le chapitre suivant nous allons présenter le travail expérimental qui était effectué dans le cadre de cette thèse.

TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

V. TRAVAIL EXPÉRIMENTAL

1. Première série d'expériences : Le rôle de la taille visuelle et des mots

Notre premier objectif était de tester si la lecture d'un simple mot est suffisante pour induire un effet de potentialisation motrice dans le cadre d'une tâche qui implique des processus automatiques (i.e., tâche de discrimination chromatique) comme le suggère l'approche simulationniste. Notre deuxième objectif était de vérifier si la taille visuelle typique (i.e., réelle) des objets est une condition préalable pour obtenir un effet de potentialisation avec les images qui représentent des objets saisissables comme le prédit l'approche par codage. Ainsi, cette première série de travaux avait pour but de nous aider à savoir si l'effet de potentialisation est tributaire d'une approche simulationniste ou plutôt d'une approche par codage. Dans cette section, nous allons d'abord aborder les pistes qui pourraient nous aider dans ce sens, ensuite énoncer les manipulations expérimentales utilisées afin de trancher entre les différentes alternatives théoriques, enfin exposer notre premier article.

1.1. Les objectifs

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les noms d'objets saisissables sont d'une importance majeure, car ils peuvent nous permettre de mieux comprendre les processus responsables de l'effet de potentialisation. Cela est possible, car contrairement aux images, les mots permettent un contrôle méthodologique de la taille visuelle. En effet, les images sont généralement représentées dans une taille visuelle réelle (e.g., l'image d'une pomme est plus grande que l'image d'une cerise). Selon l'approche par codage, la taille visuelle des images d'objets (i.e., image d'un grand objet vs. image d'un petit objet) pourrait favoriser leur codage de taille et entrainer par la même, un effet de potentialisation. Par contre, un codage basé sur la taille visuelle des mots n'est pas possible, parce qu'ils apparaissaient tous dans une taille visuelle similaire (nous tenons à signaler que nous avons précédemment contrôlé la longueur des mots utilisés). Ainsi, si un effet de potentialisation se produit avec les mots qui font référence à des objets saisissables, cela supporterait l'idée que les participants aient accès aux connaissances relatives à ces objets au moyen d'une simulation sensorimotrice. Cette suggestion est envisageable, car le codage ne serait pas possible étant donné l'absence de différence de taille.

Par ailleurs, mis à part le fait que les mots permettent un contrôle de la taille visuelle, les images le permettent également si elles sont présentées en appliquant certaines mesures. En

effet, comme nous l'avons énoncé dans notre partie théorique, les images qui représentent des grands et petits objets saisissables sont généralement présentées dans une taille visuelle qui correspond à leur taille réelle (e.g., pomme :10 cm vs. cerise : 3 cm). Pour contrôler la taille visuelle des images, il suffit de présenter celles qui représentent les grands et les petits objets dans une taille visuelle égalisée (e.g., pomme : 3 cm vs. cerise : 3 cm). De cette manière, si un effet de potentialisation est obtenu avec des images en taille visuelle égalisée, il ne pourra pas être attribué à l'approche par codage, car une distinction entre les tailles visuelles des grands et petits objets n'est pas possible. Par contre, cela signifiera que cet effet est dû à des informations motrices activées ou simulées lors du traitement des concepts d'objets ce qui est en accord avec l'approche simulationniste.

De ce fait, nous avons utilisé dans cette première série de travaux, des mots (noms d'objets) et des images qui représentent des objets saisissables qui étaient présentés dans une taille visuelle égalisée car, comme nous l'avons précédemment expliqué si un effet de potentialisation est obtenu avec des stimuli présentés dans une taille visuelle égalisée, cela fournira une preuve à l'approche simulationniste. Nous avons également utilisé des images qui représentent des objets saisissables présentés dans une taille visuelle réelle car si un effet de potentialisation est obtenu uniquement avec ces stimuli cela fournira une preuve à l'approche par codage. Néanmoins, étant donné, que certaines études rapportées dans notre partie théorique, supportent la possibilité d'obtenir un effet de potentialisation avec des mots (e.g., Tucker & Ellis, 2004), d'autres au contraire, n'ont pas pu l'obtenir (e.g., Flumini et al. 2015). Pour cela, il nous a paru important de tester dans le même protocole un effet de potentialisation sur les mots (i.e., noms d'objets saisissables) et les images (i.e., représentant des objets saisissables). De plus, ces résultats discordants pour les mots ont été obtenus à l'aide d'objets naturels et artificiels, ainsi que d'une tâche de catégorisation conceptuelle. Etant donné que notre objectif principal est de tester l'approche par codage, qui ne prédit pas une telle modulation contrairement à l'approche simulationniste, nous avons opté pour l'utilisation d'une catégorie d'objets naturels et une tâche de discrimination chromatique (tâche de catégorisation de la couleur). Pour répondre à cette tâche de catégorisation, nous avons utilisé un dispositif de réponse qui permet la réalisation de deux types de saisie (i.e., saisie puissante vs. saisie fine). En outre, étant donné, que l'approche par codage ne prédit pas une modulation spécifique de SOA (i.e., temps d'affichage des stimuli) dans l'effet de potentialisation contrairement à l'approche simulationniste qui suggère que l'effet de simulation est transitoire, nous avons manipulé SOA.

ORIGINAL ARTICLE

The visual size of graspable objects is needed to induce the potentiation of grasping behaviors even with verbal stimuli

Mohamed Halim Harrak[1] · Loïc P. Heurley[1] · Nicolas Morgado[1] · Rocco Mennella[1,2] · Vincent Dru[1]

Received: 8 December 2021 / Accepted: 14 December 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

Abstract

Merely perceiving objects usually grasped with a power or a precision grip (e.g., an apple vs. a cherry) potentiate power-grip and precision-grip responses, respectively. According to the size-coding account, this potentiation effect is due to the compatibility between size codes associated with both stimuli and responses, rather than to the simulation of motor information stored at a conceptual level (i.e., the embodied account). At the stimulus level, size-coding would occur, because objects associated with a power grip are usually presented in a larger visual size than objects associated with a precision grip. However, this explanation is challenged by results, showing that reading nouns of objects associated with power or precision grip also leads to potentiation effects, even though the visual size of the displayed object is no longer perceived. Therefore, we designed three experiments to better understand this word-based potentiation effect and to investigate whether it relies on size codes. Our results showed a word-based potentiation effect only when the object nouns were interleaved with pictures depicting the objects in their typical visual size. We discuss the contributions of these results for both the size-coding account and the embodied account of the potentiation effect of grasping behaviors.

[1] Laboratory of Interactions Between Action, Cognition and Emotion (LICAE), Université Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France

[2] Cognitive and Computational Neuroscience Laboratory (LNC2), Inserm U960, Department of Cognitive Studies, École Normale Supérieure, PSL University, 29 rue d'Ulm, 75005 Paris, France

Published online: 22 January 2022

Psychological Research

https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x

Introduction

The embodied theory argues that, to constitute knowledge, it is essential to simulate the features of the experience associated with the represented object, using sensorimotor processes (Barsalou, 2008; Matheson & Barsalou, 2018). One of the major supports of this view lies in the automatic potentiation effect associated with object-related micro-affordances, first reported by Tucker and Ellis (1998). In this classic experiment, manipulable objects (e.g., a fork) having a handle oriented toward the left or right facilitate a same sided response. The authors proposed that the mere perception of manipulable objects leads to an automatic access to the sensorimotor properties associated with that object, inducing a covert motor preparation. More finely, they used the concept of micro-affordances defined as a peculiar parameter of the action (e.g., the hand) that are automatically afforded by an objects' feature (e.g., the orientation; Ellis & Tucker, 2000). It is noteworthy that originally micro-affordances were motor attributes that are directly included in the representation of visual objects (rather than environmental properties, Tucker & Ellis, 1998; Ellis & Tucker, 2000; for a discussion, see Osiurak & Badets, 2016), while later, it was argued that these components are in fact linked to the conceptual representation of the object (e.g., Tucker & Ellis, 2004) in line with the embodied view (Barsalou, 1999, 2008, 2009). The automatic use of micro-affordances is thought to be mediated by a motor simulation process (Barsalou et al., 2003). Nevertheless, some authors questioned this last interpretation. For instance, Anderson et al. (2002) proposed that some features of the manipulable object (e.g., the object handle) might automatically orient attention toward a specific side of the object, facilitating actions on the same side, similarly to a Simon effect (Simon, 1969) or like an arrow-based Simon effect (e.g., Mazaki et al., 2000). Several studies support this interpretation (Matheson et al., 2014a, 2014b; Phillips & Ward, 2002; Roest et al., 2016; for a review, see Proctor & Miles, 2014; for a meta-analysis, see Azaad et al., 2019), showing that potentiation effects also occur when stimuli are no longer graspable (e.g., Kostov & Janyan, 2021; Matheson et al., 2014a, 2014b; Matheson & Thompson-Schill, 2019; Pellicano et al., 2018, 2019; Xiong et al., 2019).

Interestingly, the alternative attention-related interpretation does not apply to all potentiation effects. Ellis and Tucker (2000) asked participants to perform a motor response according to an auditory stimulus. Participants were presented with a graspable object typically requiring either a precision or a power grip (e.g., a cherry vs. an apple) in association with a low- vs. high-pitch auditory stimulus. Faster precision-grip responses were observed when participants saw a small object associated with a precision grip compared to a large object associated with a power grip. Conversely, power-grip responses were faster for large objects compared to small ones. This result supports the idea that the mere perception of graspable objects automatically elicits a motor simulation,[2] potentiating a compatible response. While spatial attention cannot explain this result, an alternative interpretation, which we will refer to as the size-coding account, has been proposed. Seeing an object associated with a power grip (precision grip) might automatically induce the activation of a large-size code (small-size code), facilitating in turn the response that is also coded as "large" ("small") (e.g., Masson, 2015; Proctor & Miles, 2014). Indeed, in the original study from Ellis and Tucker (2000), as well as its replications (e.g., Grèzes et al., 2003; Makris et al., 2011; Taylor & Zwann, 2010; Tucker & Ellis, 2001, 2004), visual objects associated with a precision/ power grip also differed according to their visual

[2] Of note, potentiation effects have been explained via three different concepts: micro-affordances, motor simulation, and motor representations (for a discussion, see Chong & Proctor, 2020). In this article, we only used the concept of micro-affordances and motor simulation for a simplification.

size. More precisely, objects usually associated with a precision grip (e.g., cherry) were generally smaller than objects associated with a power grip (e.g., apple). The same reasoning holds true for the response itself, because precision-grip responses were usually performed on a small switch, while power-grip responses were usually performed on a larger one. Altogether, the size-coding account proposes that the potentiation effect is due to a compatibility/incompatibility between size codes, rather than to a simulation of the usual action associated with the presented objects (for recent empirical support, see Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021; for converging evidence, see Pecher et al., 2019).

A specific result reported by Tucker and Ellis (2004) is however difficult to reconcile with this hypothesis. Indeed, in Experiment 3, the authors asked participants to make a semantic judgment (i.e., natural vs. artificial) about objects presented on the screen. These objects were small and usually grasped with a precision grip or large and usually grasped with a power grip. Interestingly, one group of participants saw pictures of these objects, while another group only read their name, but a potentiation effect was reported for both kinds of stimuli (i.e., pictures and words). The size-coding account seems to be badly suited to explain the potentiation effect observed for words, since words do not differ in visual size. This result is rather consistent with the model developed by Borghi and Riggio (2015) according to whom there are two kinds of micro-affordances: the stable and the variable ones. For Borghi and Riggio (2015), stable micro-affordances are motor attributes depending on the knowledge of an invariant feature of objects. For instance, the size of an object, like a cherry, remains relatively similar from a cherry to another. Thus, this invariant feature can lead to the construction of a knowledge of the cherry integrating the grasping parameter linked to its size (i.e., a small aperture or a precision grip). On the other hand, variable micro-affordances rely on object properties that are more transient. For instance, the orientation of objects (e.g., a stove) differs between each encounter. Supporting this dissociation, the meta-analytic review from Sakreida et al. (2016) suggested two parallel, although relatively overlapping, functional pathways, one dedicated to each kind of micro-affordances. The stable-affordances network would essentially involve the lower parietal and frontal cortices in the ventro-dorsal stream, whereas the variable-affordances network would be associated with the dorso-dorsal one. Borghi and Riggio (2015) argued that because stable micro-affordances are based on relatively invariant object property, they can be a part of the object concept; therefore, they can be automatically accessed through the mere reading of words. Following such a view, the size could be an invariant property allowing the automatic access to the associated grip, even when the object concept is accessed via words in line with the data of Tucker and Ellis (2004). This view is thus an embodied approach of concepts, because conceptual representations of objects would integrate actions components. In this view, potentiation effects would be due to one of these components (i.e., micro-affordances) itself associated with the size of objects, but are not directly due to the visual size of objects themselves.

The potentiation effect for words reported by Tucker and Ellis (2004) must be taken carefully, since a recent study obtained diverging results (Flumini et al., 2015). Indeed, Flumini et al. (2015) reported more direct response trajectories when grasping (i.e., precision vs. power grip) matched the object size (i.e., small and large objects, respectively) for pictures but not for words. Results inconsistency might suggest that potentiation effect is less reliable for pictures than for words, although the methodological differences between the cited studies prevent from reaching a firm conclusion. More generally, various studies supported that in the case of linguistic stimuli, several factors moderate the

automaticity of the sensorimotor simulation process (or micro-affordances), such as the object type, the used task, and timing. First, some studies reported effects with words that denote artifacts (e.g., tools) but not for words that denote natural objects (e.g., fruits and vegetables) (e.g., Ferri et al., 2011; Flumini et al., 2015), possibly because artifacts favor the simulation of manipulation and functional information, while natural objects involve only manipulation information. Second, potentiation effects typically emerge when the task requires conceptual processing of linguistic stimuli, as for the semantic categorization task (natural vs. artifact), but not when tasks did not require conceptual processing (e.g., color-discrimination task) (for a review, see Garcia and Ibanez, 2016). Third, sensorimotor simulation for linguistic stimuli seems to be a transient phenomenon, occurring in a temporal window comprised between 0 and 400 ms when words are processed in isolation and when the task does not directly tap into the conceptual level (for a review, see Garcia and Ibanez, 2016; see Makris et al. (2011) for a similar temporal effect for picture stimuli). Besides, this window is not restricted to the word-based potentiation effect as suggested by Makris et al. (2011). In this study, pictures of a graspable object first appeared in grayscale, and rapidly, the background of the object turns either yellow or green. Participants were instructed to perform a power grip or a precision grip according to the color. The authors manipulated the duration of the gray-scale stimuli and reported a potentiation effect only for the shortest duration: 400 ms, but not for 800 ms and 1200 ms, a result which is consistent with the temporal window typically found for words. Altogether, these data support that sensorimotor simulations for linguistic stimuli are less automatic than originally expected and depend on several factors.

It must be noted that the size-coding account does not predict similar moderations. First, since the potentiation effect would only be due to the coding of the size of objects and responses, it is not clear why artificial or natural objects should be associated with different effects. Indeed, as long as words can be coded as small or large, a similar effect is expected whatever the category of objects. Similarly, concerning the type of tasks, any task allowing to code stimuli and responses as small or large should produce the effect. Thus, we assume a close proximity of potentiation effects and Simon effects that were usually reported when participants processed the color of left/ right stimuli (for an extensive review, see Proctor et al., 2006). Considering the transient nature of the potentiation effect, the size-coding account might predict, in line with results on the Simon effect (Proctor et al., 2011), larger effect sizes at short SOA (200/400 ms), and a progressive decrease for longer SOA. Nevertheless, since this temporal effect was not replicated for other stimulus–response compatibility effects (e.g., vertical Simon effect or Simon effect with words ‘left’ and ‘right’ presented centrally; for a review, see Proctor et al., 2011), it is also possible that the SOA has no influence on the potentiation effect.

Due to the discrepancies in the literature, in this work, we have conducted three experiments adapting the classic Tucker and Ellis (2004) paradigm to directly investigate whether merely reading an object name potentiates compatible grasping behaviors and whether the typical visual size of the object is a prerequisite for this effect, as predicted by the size-coding account. In the first experiment, each trial started with a fixation cross followed immediately either by the picture of a natural graspable object (i.e., a fruit or a vegetable) depicted in its typical visual size or by its name. Objects depicted could be associated with a precision or a power grip (e.g., a cherry vs. an apple). Pictures first appeared in grayscale and words first appeared written in black during 200, 400, or 800 ms. Then, the stimulus (picture or word) became blue or orange. Participants had to perform either a precision or a power grip according to the color of the stimulus, on a response device very similar to the one originally

used by Ellis and Tucker (2000). Compared to previous studies, we choose a within-subject design (rather than a between subject design like Tucker & Ellis, 2004 and Flumini et al., 2015), interleaving pictures and words in the same experiment. Second, for the picture format, objects were depicted in a typical visual size (i.e., the picture of the apple is larger than the picture of cherry for instance). According to the size-coding account, the visual size of objects should favor their size-coding and, thus, should promote a potentiation effect. In the case of words, because they all appeared in a similar visual size, a size-coding based on the visual size is prevented. In this case, if a potentiation effect appeared it could be due to a simulation process. Third, we manipulated the duration (200, 400, and 800 ms) of the gray-scale prime as in Makris et al. (2011), to investigate the temporal window of the potentiation effect for both pictures and words. Fourth, we used a color-discrimination task to test whether a potentiation effect for pictures and words could occur even in the absence of conceptual processing of the stimuli. Finally, we only used natural objects (not artifacts), since the size-coding predicts a potentiation effect for pictures and words irrespective of stimuli's category. To specifically test predictions from the size-coding account, in a second experiment, we used the same protocol except that the pictures no longer depicted objects in their typical visual size but rather in an equalized visual size, thus impeding a size-coding based on stimuli visual size. Finally, in a third experiment, only words were presented as in Tucker and Ellis (2004), to test whether potentiation effect could be reported when words were no longer interleaved with pictures.

Experiment 1

Method

Participants

Since our first experiment is basically a replication of Tucker and Ellis (2004, Experiment 3), we performed a power analysis with G*Power 3 (Faul et al., 2007), which indicated that a sample of at least 27 participants was required to detect a potentiation effect as large as the one reported in Experiment 3 of Tucker and Ellis (2004; ω^3_p = 0.25[2]) in 80% of hypothetical replications in the long run with α = 0.05 (two-sided test). Accordingly, the sample of our first experiment was composed of 28 participants (9 females; 27 right-handed; m_{age} = 20.0 years, s_{age} = 1.0). They all reported to have a normal or corrected-to-normal visual acuity and did not report color perception issues (e.g., color-blind). All participants were naïve to the goal of the experiment and were French native speakers. This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Materials and apparatus

We used 12 words belonging to the category of fruits and vegetables. Six were large fruits or vegetables usually grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon, and pear) and six were small fruits or vegetables usually grasped with a precision grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish, and strawberry). Eight words were used during the test phase, while the four remaining words were used during familiarization trials (Appendix 1). Because our task was to discriminate the color of words, we

[2] We conducted our power analysis based on the potentiation effect reported by Tucker and Ellis (2004) for their Experiment 3. They said: "Averaged over both images and words the compatibility effect was highly significant for both measures of performance. Reaction times for compatible trials were on average 10.1 ms faster, $F(1, 69) = 24.8$, $p < .001$." From this statement, we computed the corresponding η^2_p = .26 and its bias-corrected version ω^2_p = .25 (e.g., Lakens, 2013, for a brief discussion on the advantages of ω^2_p over η^2_p). The results of the power analyses using η^2_p = .26 or ω^2_p = .25 yielded very similar sample size (n = 26 vs. n = 27, respectively). We chose to report the results of the analysis conducted with the smallest effect size.

carried out three versions of each word: a black, a blue, and an orange version. They were all written on a white background. The height of the words on the screen was 1.5 cm and their length varies from 6.5 to 12 cm depending on their number of letters. We carried out a one-factor ANOVA to ensure that the number of letters did not differ between names denoting small (m = 6.5, s = 1.0) and large (m = 6.3, s = 1.9) fruits and vegetables. The ANOVA did not reveal a significant difference, $F(1, 7) = 0.05$, $p = 0.82$, $\eta_p^2 = 0.01$, indicating that the visual size of words did not significantly differ between both categories. Moreover, the words from both categories did not significantly differ on other psycholinguistic variables like film frequency (large objects: m = 28.8, s = 41.2 vs. small objects: m = 3.6, s = 2.4; $F(1, 7) = 1.49$, $p = 0.27$, $\eta_p^2 = 0.20$) or book frequency (large objects: m = 20.5, s = 19.7 vs. small objects: m = 3.4, s = 1.3; $F(1, 7) = 2.98$, p = 0.13, $\eta_p^2 = 0.33$) according to a French lexical database (i.e., lexique3.org, New et al., 2004).

We also used 12 pictures representing objects denoted by the words previously presented (Appendix 2). Again, we designed three versions of each picture: a grayscale, a blue, and an orange version. All pictures were presented on a white background and in a visual size corresponding to the actual size of the depicted fruits and vegetables (i.e., large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm). Such pictures were already used in a previous publication and were known to potentiate grasping behaviors (Heurley et al., 2020). All pictures were available online (see https:// osf. io/ fqhu5).

The response device used was similar to the one used by Ellis and Tucker (2000). It was homemade and composed of two components that could be taken in one hand. The first component was a small cube (1 cm^3) held with a precision grip between the thumb and the forefinger. The cube contained a very small switch activated by a simultaneous pressure of the two fingers. The second component was a larger PVC cylinder (height: 10 cm, diameter: 3 cm) held with a power grip. A switch was placed to the free side of the cylinder and was activated when participants simultaneously squeezed the cylinder with their middle, ring, and little fingers. Responses were recorded using E-prime v2.0 software on an HP Probook 650 G1. I3-4000 M, 2.4 GHz computer with a computer screen DELL P2414H, 1920*1080p, 60 Hz, 23.8".

Procedure

The experiment took place in a quiet room. The participant seated at about 60 cm from the monitor. In a first phase, the 12 object pictures were presented successively with the corresponding object names written below. Participants simply read aloud the name of each item. The duration of the picture presentation 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 object pictures were presented without the object names. The aim of these two first preliminary phases was to be sure that the participant knew each fruit and vegetable used in the experimental phases (for similar preparation phase, see Bub et al., 2008).

Then, participants went through two different phases, a familiarization phase followed by a test phase, which both used the same procedure. Each trial started with a fixation cross presented at the center of the screen (500 ms) that was immediately followed either by the gray-scale picture of an object or by its name written in black lasting for 200, 400, or 800 ms. Pictures and words were interleaved. Then, the picture or the name turned either orange or blue and remained on the screen until the participant responded. The participants had to categorize, as quickly and accurately as possible, the color of the stimulus. An explanation was provided about the mapping between each response switch (e.g., power grip for blue vs. precision grip for orange; counterbalanced between participants). To prevent habituation, the

stimuli used during the familiarization phase (i.e., peanut, radish, banana, and lemon) were different from the ones used in the test phase (i.e., cherry, grape, hazelnut, strawberry, apple, avocado eggplant, and pear). Following the response, a blank screen appeared for 2500 ms until the next trial.

The test phase was composed of three blocks of 96 trials (288 trials): eight test pictures randomly presented 18 times (nine times in blue and nine times in orange) and eight test words randomly presented 18 times (nine times in blue and nine times in orange). There were 48 trials with each prime duration (200, 400, or 800 ms). In a final phase of the experiment, participants completed the short version of the Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014).

Results[4]

We only analyzed Response Times (RTs), because there were too few errors (3.36%) to analyze accuracy. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials (3.36% of the data), and RTs that were below 200 ms, because a minimum of 200–300 ms is required to respond to a visually presented target (Welford et al., 1980). We also removed trials with outlying RTs (i.e., RTs with absolute studentized deleted residuals equal or larger than three, Judd et al., 2017) (4.81% of the data).

Accordingly, we used a repeated-measures ANOVA (performed on Statistica® 7) with participant as a random variable, the SOA (200, 400 vs. 800 ms), the stimulus type (picture vs. word), the object size (large vs. small), and the response type (power-grip vs. precision-grip) as fixed within-participants independent variables.

The ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 27) = 28.86$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.52$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.02$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), comparisons showed that RTs were significantly longer in the 200 ms-SOA condition ($m = 472$ ms, $s = 71$) than 400 ms-SOA condition ($m = 454$ ms, s = 64), $F(1, 27) = 25.44$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.48$, and significantly longer in the 200 ms than in the 800 msSOA condition ($m = 445$ ms, $s = 63$), $F(1, 27) = 54.20$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.67$. In addition, RTs were longer in the 400 ms-SOA condition than in the 800 ms-SOA, $F(1, 27) = 6.64$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.19$. The ANOVA revealed neither a statistically significant main effect of object size, $F(1, 27) = 0.82$, $p = 0.37$, $\eta_p^2 = 0.03$ ($m_{\text{large object}} = 459$ ms, $s_{\text{large object}} = 62$ vs. $m_{\text{small object}} = 455$ ms, $s_{\text{small object}} = 72$), nor of response type, $F(1, 27) = 1.55$, $p = 0.22$, $\eta_p^2 = 0.05$ ($m_{\text{power-grip response}} = 461$ ms, $s_{\text{power-grip response}} = 66$ vs. $m_{\text{precision-grip response}} = 453$ ms, $s_{\text{precision-grip response}} = 68$), or of the type of stimuli, $F(1, 27) = 0.07$, $p = 0.78$ $\eta_p^2 = 0.00$ ($m_{\text{word stimuli}} = 456$ ms, $s_{\text{word stimuli}} = 65$ vs. $m_{\text{picture stimuli}} = 457$ ms, $s_{\text{picture stimuli}} = 69$).

Interestingly, the ANOVA revealed a statistically significant Object Size × Response Type interaction, $F(1, 27) = 19.07$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.41$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), planned comparisons revealed that the difference between power-grip-RTs for large ($m = 455$ ms, $s = 59$) and small objects ($m = 467$ ms, $s = 72$) was statistically significant, $F(1, 27) = 4.44$, $p = 0.04$, $\eta^2_p = 0.14$, as the difference between precision-grip-RTs for small ($m = 443$ ms, $s = 69$) and large objects ($m = 462$ ms, $s = 65$), $F(1, 27) = 12.06$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.30$. Furthermore, the ANOVA did not reveal a

[4] For each experiment, as well as for the between-experiment analysis, we run linear mixed models which largely confirmed ANOVA results. Detailed method and results are available in the "supplementary material", specifically in Table S2 (results for the three experiments separately) and S3 (results for Experiments 1 and 2 combined). Raw data of all experiments are available online (see https:// osf. io/ fqhu5).

statistically significant Stimulus Type x Response Type x Object Size interaction, $F(1, 27) = 0.01$, $p = 0.89$, $\eta_p^2 = 0.00$ (see Fig. 1) which suggests that the potentiation effect did not differ between the two stimulus types (i.e., words vs. pictures; see Fig. 1). Finally, the ANOVA neither revealed a statistically significant SOA × Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 27) = 1.47$, $p = 0.23$, $\eta_p^2 = 0.05$ nor any other interactions.

Discussion

Our goal in this first experiment was to investigate whether words referring to objects associated with a power or precision grip potentiate grasping behaviors. In accordance with the previous experiment of Tucker and Ellis (2004, Experiment 3), whatever the stimulus type (i.e., words or pictures), RTs were faster when there was a compatibility between the objects and the grips used compared to the non-compatible conditions. These data are in principle in line with both the size-coding account and the embodied account. More precisely, the picture-based potentiation effect suggests that the visual size of pictures might lead to a potentiation effect in line with the size-coding account. It's also possible that the picture-based potentiation effect is not due to the visual size but rather due to the actions associated with objects (i.e., micro-affordances) in line with the embodied interpretation (e.g., Barsalou, 2008). The effect reported with words, however, supports only the embodied view, namely the involvement of a motor simulation process because of stable micro-affordances (Borghi & Riggio, 2015). Indeed, in this last case, the visual size cannot account for the effect. It is also noteworthy that data gathered extended the previous findings of Tucker and Ellis (2004, Experiment 3) at least in two ways. First, it is possible to observe a picture- and word-based potentiation effects when the task only requires processing the color of the stimuli supporting the automatic nature of the underlying processes. Second, a word-based potentiation effect could be found even when word referred to natural objects. Finally, concerning the SOA, we observed a negative effect of the SOA length on RTs, in line with previous studies (Ferrier et al., submitted; Guerineau et al., 2021; Heurley et al., 2020). The fact that longest RTs are observed after the shortest foreperiod (i.e., the delay between the warning signal, here the fixation cross, and the reaction signal, here the color change) is thought be linked to the fact that in a context of variable fore periods, participants have few reliable information to help them in the proper timing of their preparation (Niemi & Näätänen, 1981). Notably, despite the main effect, the SOA did not moderate the potentiation effect.

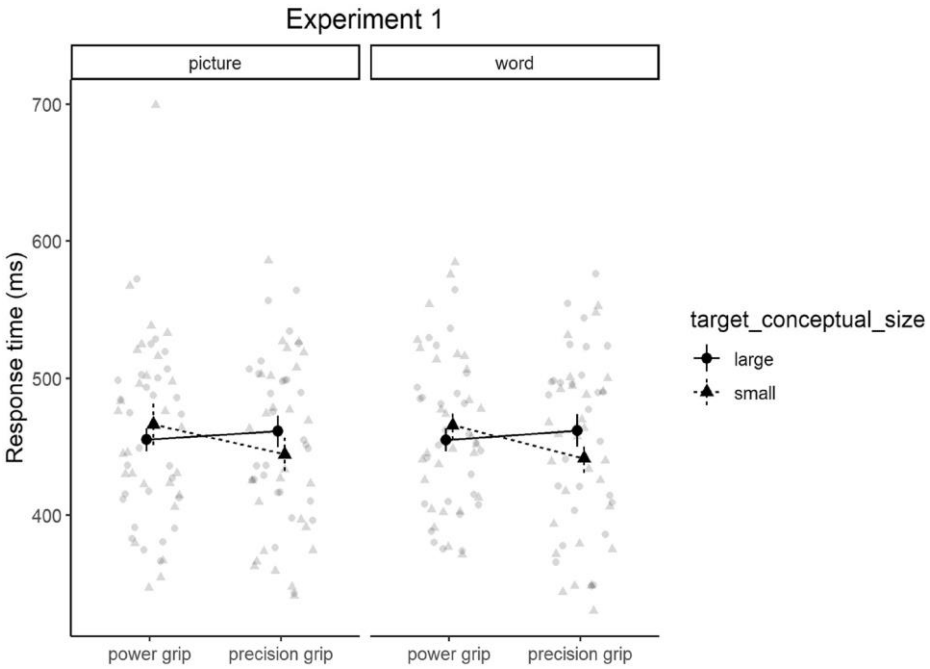


Fig. 1 Mean response time (in ms) of Experiment 1 according to response type (power vs. precision grip), object size (large vs. small), and the stimulus type (pictures vs words). Large markers represent condition means and error bars illustrate the 95% within-subject confidence interval. Small transparent markers indicate subject means in each condition

Experiment 2

In Experiment 2, pictures no longer depicted objects in their typical visual size but in an equalized one. According to the size-coding account, this equalization should remove (or strongly diminish) the possibility to code the size of pictures and thus should prevent a potentiation effect. In contrast, the embodied account predicts that because objects were still recognizable, a simulation process could take place and, thus, a potentiation effect should occur.

The word-based potentiation effect reported in Experiment 1 supports the embodied view, because words did not differ according to their visual size. However, because words were interleaved with pictures, we cannot exclude the possibility that the visual size of objects seen as pictures during the experiment have also influenced the word processing. For instance, seeing the word “APPLE” could induce the automatic retrieval of the 10-cm visual size conveyed by the picture of the apple (seen during the experiment) and thus favor its size-coding, as well. Another possibility is that when the picture of an apple is coded as “large” in the experiment, the code is more globally associated with the concept of “APPLE”, and thus, whatever the stimulus type, the size-coding occurs spontaneously during the course of the experiment. In Experiment 2, because pictures no longer depicted object in their typically visual size, such a kind of influence of pictures on words is prevented. Accordingly, whether the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 is in fact due to the visual size of pictures, we should no longer observe any potentiation effect in Experiment 2. However, whether the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 is rather due to simulation processes (and micro-affordances) automatically elicited during the words processing, an effect should still occur.

Method

Participants

This new sample was composed of 28 participants (14 females; 27 right-handed; m_{age} = 18.9 years, s_{age} = 1.5). They all reported having a normal or corrected-to-normal visual acuity and did not report color perception issues. All participants were naïve to the goal of the experiment and were French native speakers. This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

It is noteworthy that the smallest effect we can detect with our research design when conducting a 1-*df* test with $N = 28$, $\alpha = 0.05$, and 80% power is as large as $\omega^2_p = 0.25$. This effect size is similar to the size of the potentiation effect reported by Tucker and Ellis (2004, Experiment 3). Even if their study was not exactly the same as our Experiment 2, we consider their estimate of the effect size as our best guest of our effect size of interest according to the data at hand.

Material, apparatus, and procedure

We used the same response device, procedure, and stimuli as in Experiment 1. The only difference was that pictures of fruits/vegetables all appeared in the same visual size (approximately 10 cm). It is noteworthy that these visually equalized pictures were used during both preliminary phases and familiarization and test phases. This implies that in this experiment, the participant never saw pictures of object of varying visual sizes. In addition, it is noteworthy that, as in the first experiment, words were all printed in the same font size.

Results

We only analyzed Response Times (RTs), because there were too few errors (1.92%) to analyze accuracy. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials (1.92% of the data), and RTs that were below 200 ms, because a minimum of 200–300 ms is required to respond to a visually presented target (Welford et al., 1980). We also removed trials with outlying RTs (i.e., RTs with absolute studentized deleted residuals equal or larger than three, Judd et al., 2017) (6.67% of the data). We excluded data from 2 participants, because the total amount of data discard exceeded 10% (our final sample therefore includes 26 participants).

Accordingly, we used a repeated-measures ANOVA with participant as a random variable, the SOA (200, 400 vs. 800 ms), the stimulus type (picture vs. word), the object size (large vs. small), and the response type (power grip vs. precision grip) as fixed within-participants independent variables.

The ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 25) = 31.92$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.56$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.02$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), comparisons showed that RTs were significantly longer in the 200 ms-SOA condition (m = 492 ms, s = 59) than 400 ms-SOA condition (m = 473 ms, s = 61), $F(1, 25) = 34.85$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.58$, and significantly longer in the 200 ms than in the 800 ms-SOA condition (m = 462 ms, s = 55), $F(1, 25) = 59.60$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.70$. In addition, RTs were longer in the 400 ms-SOA condition than in the 800 ms-SOA, $F(1, 25) = 6.76$, $p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.21$. The ANOVA neither revealed a statistically significant main effect of object size, $F(1, 25) = 0.27$, $p = 0.60$, $\eta_p^2 = 0.01$ ($m_{\text{large object}}$ = 475 ms, $s_{\text{large object}}$ = 59 vs. $m_{\text{small object}}$ = 477 ms, $s_{\text{small object}}$ = 60), nor of response type, $F(1, 25) = 0.10$, $p = 0.75$, $\eta_p^2 = 0.00$ ($m_{\text{power-grip response}}$ = 477 ms, $s_{\text{power-grip response}}$ = 56 vs. $m_{\text{precision-grip response}}$ = 475 ms, $s_{\text{precision-grip response}}$ = 63), nor of the type of stimuli, $F(1, 25) = 1.32$, $p = 0.26$, $\eta_p^2 = 0.05$ ($m_{\text{word stimuli}}$ = 474 ms, $s_{\text{word stimuli}}$ = 58 vs. $m_{\text{picture stimuli}}$ = 477 ms, $s_{\text{picture stimuli}}$ = 62).

The ANOVA did not reveal a statistically significant Object Size × Response Type

interaction, $F(1, 25) = 1.06$, $p = 0.31$, $\eta_p^2 = 0.04$ (i.e., no potentiation effect). Indeed, according to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for large (m = 475 ms, s = 59) and small objects (m = 479 ms, s = 54), $F(1, 25) = 2.18$, $p = 0.15$, $\eta_p^2 = 0.08$, alike between precision-grip RTs for small (m = 475 ms, s = 66) and large objects (m = 475 ms, s = 60), $F(1, 25) = 0.01$, $p = 0.90$, $\eta_p^2 = 0.00$. Furthermore, the ANOVA did not reveal a statistically significant Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 25) = 1.76$, $p = 0.19$, $\eta_p^2 = 0.06$. Nevertheless, if we look at Fig. 2, we can see different patterns for pictures and words. To check for marginal differences, we conducted planned comparisons. First, for pictures and according to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.0125$ after a Bonferroni correction considering a family of four comparisons), the difference between power-grip RTs for large (m = 476 ms, s = 59) and small objects (m = 481 ms, s = 58) was not statistically significant, $F(1, 25) = 0.65$, $p = 0.40$, $\eta_p^2 = 0.02$, like the difference between precision-grip-RTs for large objects (m = 480 ms, s = 59) and small objects (m = 472 ms, s = 70), $F(1, 25) = 1.16$, $p = 0.29$, $\eta_p^2 = 0.04$. Second, for words, the difference between power-grip RTs for large (m = 473 ms, s = 59) and small objects (m = 477 ms, s = 50) was not statistically significant, $F(1, 25) = 0.74$, $p = 0.39$, $\eta_p^2 = 0.02$, as well as the difference between precision-grip RTs for large (m = 471 ms, s = 62) and small objects (m = 477 ms, s = 61), $F(1, 25) = 0.82$, $p = 0.37$, $\eta_p^2 = 0.03$. These comparisons support the possible lack of potentiation effect for pictures and words in this second experiment. Finally, the ANOVA neither revealed a statistically significant SOA × Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 25) = 0.14$, $p = 0.86$, $\eta_p^2 = 0.00$ nor any other interactions.

Discussion

This second experiment is a close replication of Experiment 1 except that the pictures no longer depicted objects in their typical visual size but in an equalized visual size (words used are exact the same as in Experiment 1). This experiment revealed neither a potentiation effect for pictures nor for words (i.e., the Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction) or both averaged (i.e., the Object Size × Response Type interaction). This lack of potentiation effect seems to suggest three main conclusions. First, it supports the possibility that the visual size matters as predicted by the size-coding account. It seems that the visual size of objects' pictures is critical to induce a size-coding of objects able to match the size-coding of responses (i.e., size of switches), and this is valuable for both pictures and words (while only pictures were presented in a typical visual size in Experiment 1). Indeed, we observed a potentiation effect for words and pictures in Experiment 1 for which objects were depicted in their typical visual size. In Experiment 2, we prevented participants to use the typical visual size by equalizing the presented visual size. The potentiation effect did not emerge in this situation. Second, it seems that the visual size of pictures can influence word processing. In Experiment 1, words induced a potentiation effect while it was no longer the case in Experiment 2, even though we used the same words on both experiments. Thus, word-based potentiation effect seems mainly due to the visual size of the concurrently depicted objects. Finally, and as in Experiment 1, the duration of the SOA did not moderate these conclusions. In Experiment 3, we went further to understand the possible rules of this influence between pictures and words, by presenting words alone.

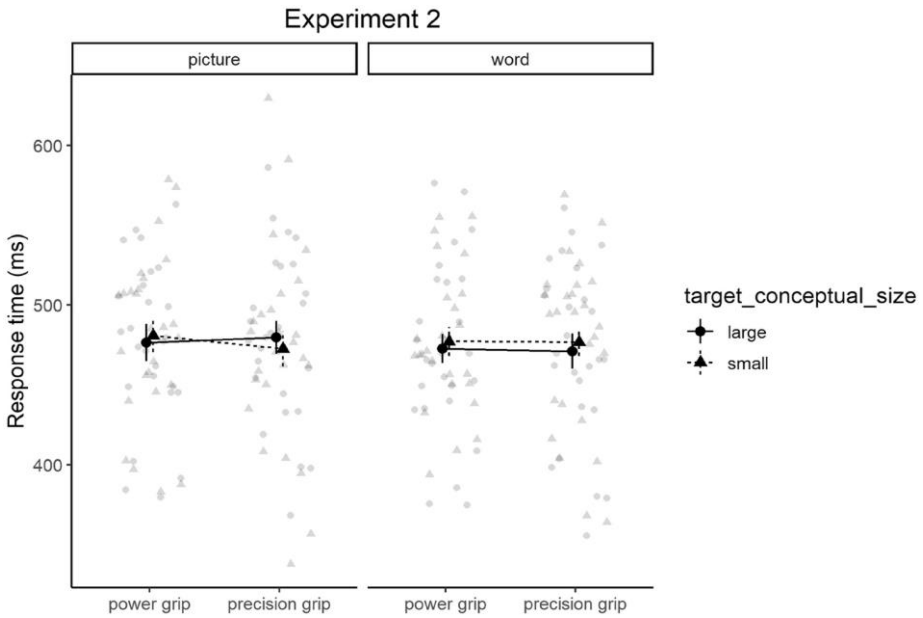


Fig. 2 Mean response time (in ms) of Experiment 2 according to response type (power vs. precision grip), object size (large vs. small), and the stimulus type (pictures vs words). Large markers represent condition means and error bars illustrate the 95% within-subject confidence interval. Small transparent markers indicate subject means in each condition

Comparisons between experiments 1 and 2

Experiment 1 revealed a potentiation effect that disappeared in Experiment 2, supporting the size-coding account. Nevertheless, these conclusions are mainly based on the nonsignificant interaction in Experiment 2, and non-significant results ought not to be interpreted as lack of effect. To overcome such a limit, we statistically compared our experiments. We predicted that a larger potentiation effect in Experiment 1 than in Experiment 2 (i.e., a significant Experiment × Objects Size × Response Type interaction) as predicted by the size-coding account.

Method

Both experiments shared a highly similar protocol (e.g., same procedure, number of trials, objects viewed, response device) supporting the relevance of this cross-experiment analysis. Only, the visual size in which objects were depicted as pictures differed. In Experiment 1, objects usually associated with power grip (e.g., apple) and precision grip (e.g., cherry) were presented in a visual size of 10 cm and 3 cm, respectively, while in Experiment 2, both kinds of objects were presented in the same visual size of 10 cm.

Results and discussion

We used a mixed design ANOVA with participant as a random variable, the experiments (experiment 1 vs experiment 2) as a fixed between-participants independent variables and the SOA (200, 400 vs. 800 ms), the stimulus type (picture vs. word), the objects size (large vs. small), and the response type (power grip vs. precision grip) as fixed within-participants independent variables.

The ANOVA neither revealed a statistically significant main effect of the experiment, $F(1, 54) = 1.90$, $p = 0.17$, $\eta_p^2 = 0.03$, of the stimuli type, $F(1, 54) = 0.88$, $p = 0.35$, $\eta_p^2 = 0.02$, of the object size, $F(1, 54) = 0.73$, $p = 0.73$, $\eta_p^2 = 0.00$, or of the response type, $F(1, 54) = 1.33$, $p = 0.25$, $\eta_p^2 = 0.02$. In addition and in line with separate analysis of each experiment, the ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 54) = 60.80$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.53$.

Finally, the ANOVA revealed a statistically significant Object Size x Response Type interaction, $F(1, 54) = 16.83$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.24$ (i.e., potentiation effect) as well as a statistically

significant Experiment × Object Size × Response Type interaction, $F(1, 54) = 8.56$, $p = 0.005$, $\eta^2_p = 0.14$ supporting a larger potentiation effect in Experiment 1 compared to Experiment 2. The ANOVA did not reveal any other significant interaction especially the Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 54) = 0.49$, $p = 0.48$, $\eta_p^2 = 0.00$, the Experiment × Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 54) = 0.83$, $p = 0.36$, $\eta_p^2 = 0.01$, the SOA × Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 54) = 1.09$, $p = 0.33$, $\eta_p^2 = 0.02$ and the Experiment × SOA × Stimulus Type × Response Type × Object Size interaction, $F(1, 54) = 0.40$, $p = 0.66$, $\eta_p^2 = 0.00$.

These results confirmed that the potentiation effect in Experiment 1 was significantly larger than the one in Experiment 2. Moreover, it seems that the stimulus type did not moderate this effect. These last results confirmed the significant and non-significant Object Size × Response Type interaction observed, respectively, in Experiment 1 and 2 when they were analyzed separately. As previously, the duration of the SOA did not moderate such conclusions (see Supplementary material, for a Bayesian analysis bringing further converging data).

Experiment 3

Together, Experiment 1 and 2 supported the size-coding account and more specifically the central role of visual size in the potentiation effect of grasping behaviors. For pictures, the effect seems relatively clear, the lack of visual size difference prevented the potentiation effect. However, for words, things were more complicated, since we observed an effect in Experiment 1 but not in Experiment 2. We argue that the lack of effect in Experiment 2 might be due to the lack of differing visual sizes at the level of pictures which were interleaved with words. The lack of visual difference in Experiment 2 prevented a transfer of picture size codes to words, which instead could occur in Experiment 1. To test such a possibility, we conducted a third experiment in which words were no longer presented interleaved with pictures (as in Tucker & Ellis, 2004, Experiment 3). If the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 is due to a simulation process and its disappearance in Experiment 2 due to an interference phenomenon, a potentiation effect should occur in Experiment 3 in which words were presented alone. In contrast, if the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 is due to a size-coding of words (because of the size-coding of pictures) and its disappearance in Experiment 2 due to the lack of size-coding, no potentiation effect should be observed in Experiment 3 in which words cannot be coded along the size dimension.

Method

Participants

The sample was composed of 28 participants (including 10 females and 21 right-handed; m_{age} = 19.8 years, s_{age} = 2.7). We have chosen this sample size because of the 1-*df* test performed for Experiment 2. They all reported to have a normal or corrected-to-normal visual acuity and did not report color perception issues. All participants were naïve to the goal of the experiment and were French native speakers. This study was in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Material, apparatus, and procedure

During the preliminary phase, pictures of objects were presented in their typical visual size as in Experiment 1 and 2 (i.e., large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm). During the familiarization and the test phase, we only presented words. Accordingly, the test phase was only composed of

144 trials. Three blocks of 48 trials: 8 test words randomly presented 18 times, 9 times in blue and 9 times in orange. There were 16 trials with each prime duration: 200, 400, or 800 ms. The rest of the methods were the same as in our previous experiments.

Results

We only analyzed Response Times (RTs), because there were too few errors (2.53%) to analyze accuracy. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials (2.53% of the data), and RTs that were below 200 ms, because a minimum of 200–300 ms is required to respond to a visually presented target (Welford et al., 1980). We also removed trials with outlying RTs (i.e., RTs with absolute studentized deleted residuals equal or larger than three, Judd et al., 2017) (4.51% of the data).

Accordingly, we used a repeated-measures ANOVA with participant as a random variable, the SOA (200, 400 vs. 800 ms), the object size (large vs. small), and the response type (power-grip vs. precision-grip) as fixed within-participants independent variables.

The ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 27) = 38.83$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.59$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.02$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), comparisons showed that RTs were significantly longer in the 200 ms-SOA condition ($m = 474$ ms, $s = 51$) than 400 ms-SOA condition ($m = 445$ ms, $s = 48$), $F(1, 27) = 33.89$, $p < 0.001$,$\eta_p^2 = 0.56$, and significantly longer in the 200 ms than in the 800 ms-SOA condition ($m = 432$ ms, $s = 50$), $F(1, 27) = 55.43$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.67$. In addition, RTs were significantly longer in the 400 ms-SOA condition than in the 800 msSOA, $F(1, 27) = 11.32$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.29$. The ANOVA neither revealed a statistically significant main effect of response type, $F(1, 27) = 0.69$, $p = 0.41$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{\text{precision-grip response}} = 447$ ms, $s_{\text{precision-grip response}} = 54$ vs. $m_{\text{power-grip response}} = 453$ ms, $s_{\text{power-grip response}} = 50$) nor of object size, $F(1, 27) = 3.47$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.11$,

($m_{\text{large object}} = 454$ ms, $s_{\text{large object}} = 55$ vs. $m_{\text{small object}} = 446$ ms, $s_{\text{small object}} = 50$).

The ANOVA did not reveal a statistically significant Object Size x Response Type interaction, $F(1, 27) = 0.25$, $p = 0.62$, $\eta^2_p = 0.00$ (Fig. 3). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for large ($m = 456$ ms, $s = 53$) and small objects ($m = 450$ ms, $s = 46$), $F(1, 27) = 0.86$, $p = 0.36$, $\eta_p^2 = 0.03$, alike between precision-grip RTs for small ($m = 442$ ms, $s = 53$) and large objects ($m = 452$ ms, $s = 56$), $F(1, 27) = 2.68$, $p = 0.11$, $\eta_p^2 = 0.09$. Finally, the ANOVA neither revealed a statistically significant SOA × Response Type x Object Size interaction, $F(1, 27) = 0.63$, $p = 0.53$, $\eta_p^2 = 0.02$, nor any other interactions.

Discussion

In this last experiment, we did not find a potentiation effect with words either for power- and precision-grip responses. Accordingly, it seems that in Experiment 3, words already used in Experiment 1 and 2 cannot induce a potentiation effect when they were not presented interleaved with pictures. According to our goal, and compared to Experiment 1 and 2, it seems that the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 is not due to a simulation process (i.e., stable micro-affordances, Borghi & Riggio, 2015) but rather because of a size-coding of words based on the visual size of pictures. We further discuss this last result in the General Discussion. As in Experiment 1 and 2, the duration of SOA did not moderate this conclusion.

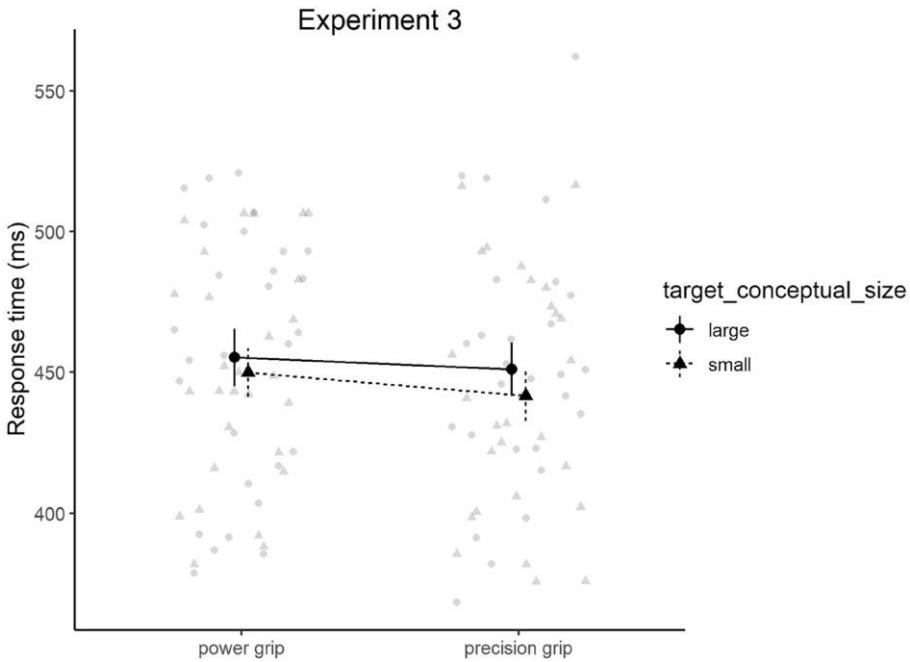


Fig. 3 Mean response time in ms) of Experiment 3 according to response type (power vs. precision grip) and object size (large vs. small). Large dots represent condition means and error bars illustrate the 95% within-subject confidence interval. Small transparent dots indicate subject means in each condition

General discussion

Our main goal was to better understand the potentiation effect of grasping behaviors (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001, 2004). We especially designed three experiments able to test predictions coming from both embodied and a size-coding account of this effect. The embodied account argues that this potentiation effect is due to the simulation of motor information stored at a conceptual level (Barsalou, 2009; Ellis & Tucker, 2000). The size-coding account posits instead that the potentiation effect is due to the compatibility between size codes associated with both stimuli and responses (Heurley et al., 2020; Masson, 2015; Proctor & Miles, 2014). The object coding would be itself due to a lowlevel visual feature of objects: their visual size. Altogether, data gathered led to several contributions detailed below.

A potentiation effect with words

First, our results support the existence of a word-based potentiation effect. More precisely, and as already reported by Tucker and Ellis (2004), the Object Size × Response Type interaction (i.e., potentiation effect) in Experiment 1 was not significantly moderated by the stimulus type (i.e., pictures vs. words). According to Tucker and Ellis (2004, p. 198), this lack of statistical significance for this interaction suggests that "there was no evidence that this compatibility effect differed significantly between Images or Words". Our results extend this primary work. First, we report a potentiation effect, while the task used is not a semantic task but a color-discrimination task and while pictures/words only refer to natural objects. Second, we manipulated the stimulus type (i.e., picture vs. word) in a within-subject design rather than in a between-subject design supporting a similar effect size between picture- and word-based potentiation effects. Nevertheless, we only observed this potentiation effect in Experiment 1, not in Experiment 2 (see also the between-experiments analysis). We propose that this difference depends on the visual size of the pictures that we interleaved with words. In Experiment 1, pictures depicted objects in a typical visual size, whereas in Experiment 2, all objects were depicted in the same visual size.

These results, which were supported by complementary Bayesian and linear models analyses (see Supplementary Material), led to two main conclusions. First, as advocated by the size-coding account, the visual size seems to be a

critical factor in the emergence of the potentiation effect with words in our experiments. More precisely, words must be interleaved with pictures depicting typically sized graspable objects to induce the effect. Accordingly, our word-based potentiation effect might be due to the size-coding of words induced by the visual size of objects on the pictures presented concurrently. Second, if size codes were indeed involved, the size code associated with pictures might need to be "transferred" to words. Thus, during the experiment, the size codes might be linked to the more general concept associated with pictures. More precisely, when participant saw the pictures of the apple, they coded the concept of "APPLE" as "large" because of its visual size and when they saw the word "APPLE", the code associated with the concept during the experiment was automatically retrieved, affecting in turn their manual responses. Such a transfer could occur in Experiment 1, but not in Experiment 2, because pictures were presented in an equalized visual size in the latter. Thus, the visual size can conduct to a size-coding of concepts. We argue that participant did not retrieve that an apple is something large because of their everyday experience when they read the word "APPLE". Indeed, if it was the case, a similar retrieving should occur in Experiment 2 and 3 and should induce a potentiation effect, while it was not the case. Instead, we argue that the retrieving of the code "large" is only limited to the experiment and depends on the visual size of pictures. Thus, the transfer of codes from pictures to words is a situated phenomenon restricted to the time of the experiment. This interpretation might explain why we found a word-based potentiation effect only in Experiment 1, while the exact same words were used in the three experiments.

In Experiment 3, when words were no longer interleaved with pictures, we did not find a potentiation effect. This last experiment is a close replication of the Experiment 3 of Tucker and Ellis (2004), specifically for the group that only saw words. This discrepancy between our own data and the one reported by Tucker and Ellis (2004) is interesting and might depend on the task used. Indeed, as reviewed by Garcia and Ibanez (2016), the sensorimotor simulation possibly at work when words are processed might be required when the task used is semantic in nature. In the study of Tucker and Ellis (2004), a word-based potentiation effect could be found in isolation (i.e., not interleaved with pictures), because they use a semantic categorization task. In our own Experiment 3 (and in Experiment 2), we failed to report a word-based potentiation effect, because the task did not require to process the word at a semantic level. Even though this interpretation is in line with data on embodied language processing (e.g., Garcia & Ibanez, 2016), further studies ought to be directly designed to challenge it, especially if we consider that previous studies failed to report a word-based potentiation effect in a semantic categorization task (Flumini et al., 2015). This question seems of a primary importance, because our results suggest that the word-based potentiation effect might depend both on a simulation process, as advocated by the embodied account, and on a coding process, as advocated by the size-coding account.

Another difference between our experiment and the one from Tucker and Ellis (2004) is that we used only natural objects, while they used a mix of natural and artificial objects. Considering that some studies supported the possibility that artifacts favor the simulation of manipulation and functional information, while natural objects involve only manipulation information (e.g., Ferri et al., 2011; Flumini et al., 2015), it is possible that only using natural objects does not favor the use of a simulation process. Accordingly, further studies should be designed to weight the influence of size codes in the emergence of the word-based potentiation effect in the case of a task tapping into semantic processing and using artificial objects. Such experiments could help further disentangling between an embodied and a size-coding account of the potentiation effect.

In addition, the effect reported in Experiment 1 could be due to the syllables composing words. In several studies, Vainio and his collaborators reported that power- and precision-grip responses could be potentiated by some specific syllables (Tiainen et al., 2016, 2017; Vainio et al., 2013, 2014). More precisely, Vainio et al. (2014) conducted an experiment in which participants first saw a syllable written in gray during 600 ms before turning blue or green, and then, they have to perform a power grip or a precision grip according to the color. There were two syllables of interest: KA and TI. The results showed faster power-grip responses (compared to precision-grip ones) when participants saw the syllable KA and a reversed pattern for the syllables TI. KA and TI, respectively, involve a large vs. small mouth opening to articulate them like power grip and precision grip, respectively, involve a large- vs. small-hand aperture (see also Gentilucci et al., 2009; Gentilucci & Campione, 2011), and it is possible that a similar effect occurred in our experiment. Indeed, the word "APPLE" might be associated with a larger mouth opening, because of the "A", than the word "CHERRY", because of the "Y".[5] However, if the word-based potentiation effect reported in Experiment 1 was truly due to this variable, a similar effect should be found in Experiments 2 and 3 in which the exact same words were used, but it was not the case.

Finally, the duration of the SOA did not modulate the word-based potentiation effect in Experiment 1, even whether embodied effects on language seem to occur in a temporal window comprised between 0 and 400 ms when words (i.e., names or verbs) are processed in isolation and when the task does not directly tap into the concept level (Garcia & Ibanez, 2016). In the same vein, the lack of potentiation effect in Experiment 2 and 3 was not significantly modulated by the duration of the SOA and scarce evidence supported this possibility (see the Bayesian analysis of the between-experiment analysis in the supplementary material).

A potentiation effect with pictures

A second main contribution of the present study is about the potentiation effect reported for pictures. Interestingly, we found a potentiation effect in Experiment 1 but not in Experiment 2. Again, such a pattern was in line with the size-coding hypothesis of the potentiation effect. It is possible that the effect only occurs in Experiment 1 because of the visual size of the depicted objects. Thus, the visual size would be a low-level visual feature that allow to code each object category according to their size. More precisely, objects associated with a power grip would be coded as "large", because they were presented in a visual size of 10 cm and objects associated with a precision grip would be coded as "small", because they were presented in a visual size of 3 cm. When this visual difference was removed in Experiment 2, the potentiation effect no longer occurred. It is noteworthy that most of the studies reporting a potentiation effect of grasping behaviors always implied objects associated with a power grip in a larger visual size than objects associated with a precision grip (e.g., Ellis & Tucker, 2000; Grèzes et al., 2003; Makris et al., 2011; Tucker & Ellis, 2001, 2004). Accordingly, future studies should carefully control the visual size of objects to test the possible involvement of motor simulations, as argued by proponent of the embodied account. However, it is possible to hypothesize that when the visual size of objects was artificially removed like in Experiment 2, the involvement of motor simulation is possible but only whether particular conditions were gathered as it was hypothesized for words (e.g., Garcia & Ibanez, 2016). More precisely, maybe, it is required that objects should belong to the artificial rather than to the natural

[5] Obviously, in French, we did not use the words "APPLE" and "CHERRY", but a similar reasoning applies to the French words we used (see Appendix 1).

category and the task used should tap into semantic processes. Because in our study, we used natural objects and a color-discrimination task, we can directly test such a possibility.

In our Experiment 1 and 2, the duration of the SOA did not moderate the potentiation effect, a finding that is not in line with the results of Makris et al. (2011). We propose two possible interpretations. First, it is possible that the sensitivity of the potentiation effect to the SOA in the study of Makris et al. (2011) is the marker of "a true embodied potentiation effect", a potentiation effect involving motor simulation/micro-affordances. In contrast, in our Experiment 1, because the effect is not sensitive to the SOA, the effect is not "a true embodied potentiation effect" but rather a mere stimulus–response compatibility effect. Using the sensitivity of potentiation effect to temporal factors to disentangle between the involvements of "embodied processes" or merely spatial coding processes have previously been proposed (for a review, see Proctor et al., 2011). The second hypothesis suggests that the lack of influence of the SOA in our Experiment 1 comes from a subtle difference with the protocol of Makris et al. (2011). Indeed, in their study, the object did not change color (i.e., it always appeared in grayscale), while the background changed color. It is possible that the presentation of the object in the center of the screen in the study of Makris et al. (2011) automatically captured participants' attention. Then, they must disengage their attention from the object to focus their attention on the background to discriminate the color change. This is important, considering that potentiation effects seem mainly due to object-based attention (Ellis et al., 2007). This engagement/ disengagement of attention might explain why the influence of objects is a transient phenomenon that cannot be found in our own experiment in which this engagement/disengagement of attention is not required.

The nature of the response device used

According to the debate between an embodied and a size-coding account of the potentiation effect of grasping behaviors, another factor should be discussed. In our experiments, the participants must carry the device into their hand all along the duration of the experiment. Participants did not have to reach and grasp the device with a power grip or precision grip, but have merely to press each switch with a grasp mimicking a power grip or precision grip. In this condition, the influence of motor simulation processes can be difficult to report, because the planning processes associated with the grasping behavior is very limited. Accordingly, Bub et al. (2021) reported a potentiation effect only when a reach and grasp response was performed but not when participants have merely had to press a key. In this last case, evidence supported a stimulus–response compatibility effect. These results are in line with data of Ferri et al. (2011) who reported a potentiation effect in similar conditions. Accordingly, further studies should be performed to better investigate the possible role of the kind of responses performed and the possible involvement or not of motor simulation and size codes.

Limitations of the size-coding account

Experiment 2 showed an intriguing result, which challenges the size-coding account. In this experiment, pictures were visually larger than words. According to the size-coding account, pictures should be coded as "large" and should potentiate power grip rather than precision grip, while words should be coded as "small" and should potentiate precision grip rather than power grip. However, it was not the case. The interaction between the type of stimuli (i.e., pictures = large vs. words = small) and the type of responses (i.e., power grip vs. precision grip) was not significant (i.e., $p = 0.87$, $\eta_p^2 = 0.00$). Herein, we propose at

least two explanations of this lack of interaction. First, the coding might not have occurred whe stimuli belonged to different categories (i.e., pictures vs. words). It is possible that stimuli must belong to the same category to allow an automatic and efficient size comparison and, thus, a size-coding. Second, it could also be argued that because the visual length of words is varied, it is more difficult for participants to code all words as "small" compared to pictures. Whatever, this lack of interaction suggests that a mere difference between the visual sizes of stimuli does not necessarily induce a size coding and its subsequent potentiation effect. Further studies should be designed to better understand the rules and variables relevant to induce this size-coding.

Conclusion

The present experiments confirm the possibility that a potentiation effect could be reported for words. Nevertheless, our experiments also reveal a critical role of the visual size in which objects were presented. At a theoretical level, our result supported the size-coding account of the potentiation effect or, more precisely, supported the possibility that in some conditions (i.e., color-discrimination task, natural objects, grasped device), size codes lead to a potentiation effect. Therefore, the respective contributions of size-coding and of a sensorimotor simulation in the emergence of the potentiation effect merit to be further investigated.

Declarations

Conflict of interest All authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval All procedures performed in 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.

Appendix

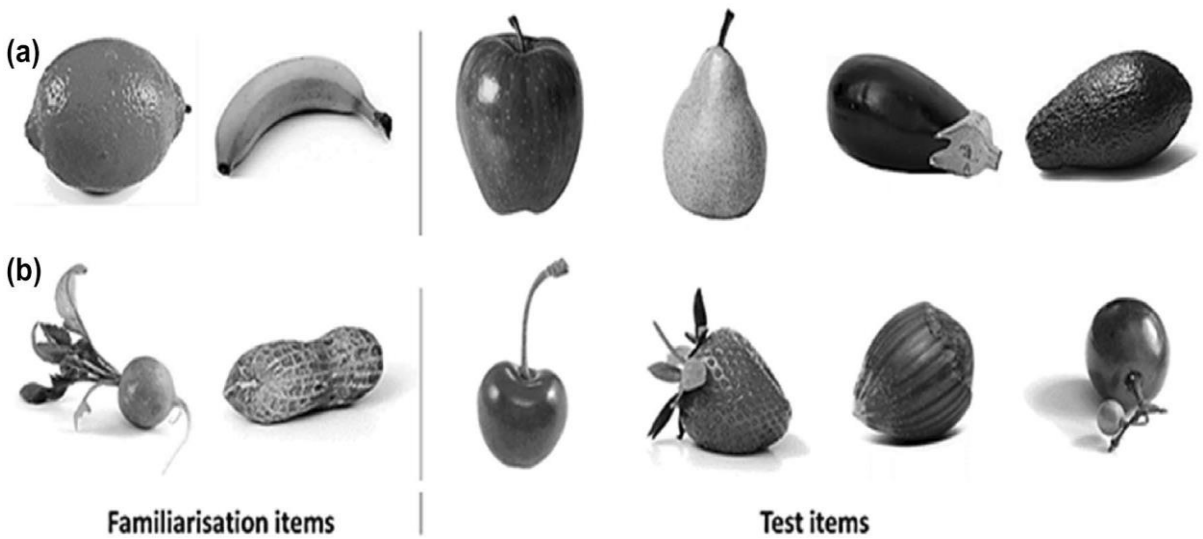
Appendix 1

List of words used with (1) the phase in which they were used (familiarization or test), (2) the size associated with the object denoted (large or small), (3) their English names, (4) their French names, (5) their associated film frequency (from Lexique3.org, New et al., 2004), (6) their associated book frequency (also from Lexique3.org, New et al., 2004), and (7) their number of letters. Both frequencies were reported per million of occurrences.

Phase	Associate size	English name	French name	Film frequency	Book frequency	Number of letters
Familiarization	Large	Lemon	Citron	8.10	9.05	6
Familiarization	Large	Banana	Banane	6.09	4.05	6
Familiarization	Small	Radish	Radis	1.81	3.11	5
Familiarization	Small	Peanut	Cacahuette	1.71	0.74	10
Test	Large	Apple	Pomme	19.77	46.08	5
Test	Large	Pear	Poire	5.67	10.81	5
Test	Large	Eggplant	Aubergine	0.35	0.61	9
Test	Large	Avocado	Avocat	89.28	24.32	6
Test	Small	Cherry	Cerise	2.75	3.31	6
Test	Small	Strawberry	Fraise	5.28	3.92	6
Test	Small	Hazelnut	Noisette	0.57	1.69	8
Test	Small	Grape	Raisin	5.88	4.86	6

Appendix 2

Pictures of objects used with (1) the phase in which they were used (familiarization or test) and (2) the size associated with the object depicted: (a) large or (b) small.



Supplementary Information The online version contains supplementary material available at https://d oi.org/1 0 .1007 /s 00426-021-0 1635- x.

Availability of data and materials https:// osf. io/ fqhu5.

References

American Psychological Association. (2016). Revision of Ethical Standard 3.04 of the *Ethical principles of psychologists and code of conduct* (2002, as amended 2010). The American Psychologist, *71*(9), 900. https:// doi. org/ 10. 1037/ amp00 00102

Anderson, S. J., Yamagishi, N., & Karavia, V. (2002). Attentional processes link perception and action. *Proceedings of the Royal Society of London. Series b: Biological Sciences, 269*(1497), 1225–1232. https:// doi. org/ 10. 1098/ rspb. 2002. 1998

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. cogni tion. 2019. 04. 028

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences, 22*(4), 577–660. https:// doi. org/ 10. 1017/ S0140 525X9 90021 49

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology, 59*, 617–645. https:// doi. org/ 10. 1146/ annur ev. psych. 59. 103006. 093639

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., Simmons, W. K., 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

Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 351. https:// doi. org/ 10. 3389/ fnhum. 2015. 00351

Bub, D. N., Masson, M. E., & 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. cogni tion. 2006. 12. 010

Bub, D. N., Masson, M. E., & van Noordenne, M. (2021). Motor representations evoked by objects under varying action intentions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 47*(1), 53–80. https:// doi. org/ 10. 1037/ xhp00 00876

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/ 17456 91619 868207

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/ 00071 26001 61934

Ellis, R., Tucker, M., Symes, E., & Vainio, L. (2007). Does selecting one visual object from several require inhibition of the actions associated with nonselected objects? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(3), 670. https:// doi. org/ 10. 1037/ 0096- 1523. 33.3. 670

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/ BF031 93146

Ferri, F., Riggio, L., Gallese, V., & Costantini, M. (2011). Objects and their nouns in peripersonal space. *Neuropsychologia, 49*(13), 3519–3524. https://d oi.org/1 0 .1016 /j.n europsycho logia .2011.0 9 . 001

Flumini, A., Barca, L., Borghi, A. M., & Pezzulo, G. (2015). How do you hold your mouse? Tracking the compatibility effect between hand posture and stimulus size. *Psychological Research Psychologische Forschung, 79*(6), 928–938. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00426- 014- 0622-0

García, A. M., & Ibáñez, A. (2016). A touch with words: Dynamic synergies between manual actions and language. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 68*, 59–95. https:// doi. org/ 10. 1016/j. neubi orev. 2016. 04. 022

Gentilucci, M., & Campione, G. C. (2011). Do postures of distal effectors affect the control of actions of other distal effectors? Evidence for a system of interactions between hand and mouth. *PLoS ONE*. https:// doi. org/ 10. 1371/ journ al. pone. 00197 93

Gentilucci, M., Campione, G. C., Dalla Volta, R., & Bernardis, P. (2009). The observation of manual grasp actions affects the control of speech: A

combined behavioral and Transcranial Magnetic Stimulation study. *Neuropsychologia, 47*(14), 3190–3202. https:// doi. org/ 10. 1016/j. neuro psych ologia. 2009. 07. 020

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

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 Psychologische Forschung*. https://d oi.org/1 0 .1007 / s00426- 021- 01535-0

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. cogni tion. 2020. 104377

Judd, C. M., McClelland, G. H., & Ryan, C. S. (2017). *Data Analysis: A Model Comparison Approach to Regression, ANOVA, and Beyond* (3rd ed.). Routledge.

Kostov, K., & Janyan, A. (2021). Critical bottom-up attentional factors in the handle orientation effect: Asymmetric luminance transients and object-center eccentricity relative to fixation. *Psychological Research Psychologische Forschung, 85*(4), 1685–1705. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00426- 020- 01329-w

Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology, 4*(863), 1–12. https://d oi.org/1 0 .3389 / fpsyg. 2013. 00863

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://d oi. org/ 10. 1016/j. bandc. 2011. 08. 002

Masaki, H., Takasawa, N., & Yamazaki, K. (2000). An electrophysiological study of the locus of the interference effect in a stimulus-response compatibility paradigm. *Psychophysiology, 37*(4), 464–472. https:// doi. org/ 10. 1111/ 1469- 8986. 37404 64

Masson, M. E. (2015). Toward a deeper understanding of embodiment. *Canadian Journal of Experimental Psychology/revue Canadienne De Psychologie Expérimentale, 69*(2), 159. https:// doi. org/ 10. 1037/ cep00 00055

Matheson, H. E., & Barsalou, L. W. (2018). Embodiment and grounding in cognitive neuroscience. WileyIn S. L. ThompsonSchill (Ed.), *The Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience* (Vol. 4, pp. 357–383)

Matheson, H. E., & Thompson-Schill, S. L. (2019). Investigating grounded conceptualization: Stimulus-response compatibility for tool handles is due to spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 45*(4), 441–457. https:// doi. org/ 10. 1037/ xhp00 00616

Matheson, H. E., White, N., & McMullen, P. A. (2014a). Testing the embodied account of object naming: A concurrent motor task affects naming artifacts and animals. *Acta Psychologica, 145*, 33–43.

Matheson, H. E., White, N. C., & McMullen, P. A. (2014b). A test of the embodied simulation theory of object perception: Potentiation of responses to artifacts and animals. *Psychological Research Psychologische Forschung, 78*(4), 465–482.

New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: A new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 36*(3), 516–524. https://d oi.org/ 10. 3758/ bf031 95598

Niemi, P., & Naatanen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin, 89*(1), 133–162. https:// doi. org/ 10. 1037/ 0033- 2909. 89.1. 133

Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review, 123*(5), 534.

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

Pellicano, A., Iani, C., Maiorana, N. V., Horoufchin, H., Rubichi, S., Lugli, L., et al. (2018). Correspondence effect driven by salient visual asymmetries in integral object stimuli. *Psychological Research Psychologische Forschung, 84*, 728–742. https:// doi. org/ 10. 1007/ s00426- 018- 1079-3

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 Psychologische Forschung, 83*(7), 1383–1399. https://d oi.org/1 0 . 1007/ s00426- 018- 1009-4

Phillips, J. C., & Ward, R. (2002). SR correspondence effects of irrelevant visual affordance: Time course and specificity of response activation. *Visual Cognition, 9*(4–5), 540–558. https://d oi.org/1 0 . 1080/ 13506 28014 30005 75

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* (Vol. 60, pp. 227–266). Academic Press. https:// doi. org/ 10. 1016/ B978-0- 12- 800090- 8. 00006-8

Proctor, R. W., & Vu, K. P. L. (2006). Stimulus-Response Compatibility Principles. CRC press Taylor & Francis Group. https://d oi. org/ 10. 1201/ 97802 03022 795

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://d oi.org/1 0 .3758 / s13423- 011- 0053-5

Roest, S. A., Pecher, D., Naeije, L., & Zeelenberg, R. (2016). Alignment effects in beer mugs: Automatic action activation or response competition? *Attention, Perception, & Psychophysics, 78*(6), 1665–1680. https:// doi. org/ 10. 3758/ s13414- 016- 1130-7

Sakreida, K., Effnert, I., Thill, S., Menz, M. M., Jirak, D., Eickhoff, C. R., Ziemke, T., Eickhoff, S. B., Borghi, A. M., & Binkofski, F. (2016). Affordance processing in segregated parieto-frontal dorsal stream sub-pathways. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 69*, 89–112. https://d oi.org/1 0 .1016 /j.n eubiorev.2 016 . 07. 032

Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology, 81*(1), 174–176. https:// doi. org/ 10. 1037/ h0027 448

Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2010). Grasping spheres, not planets. *Cognition, 115*(1), 39–45. https:// doi. org/ 10. 1016/j. cogni tion. 2009. 11. 006

Tiainen, M., Tiippana, K., Vainio, M., Komeilipoor, N., & Vainio, L. (2017). Interaction in planning vocalizations and grasping. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(8), 1590–1602. https:// doi. org/ 10. 1080/ 17470 218. 2016. 11954 16

Tiainen, M., Tiippana, K., Vainio, M., Peromaa, T., Komeilipoor, N., & Vainio, L. (2016). Selective influences of precision and power grips on speech categorization. *PLoS ONE, 11*(3), e0151688. https:// doi. org/ 10. 1371/ journ al. pone. 01516 88

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/ 13506 28004 20001 44

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

Vainio, L., Schulman, M., Tiippana, K., & Vainio, M. (2013). Effect of syllable articulation on precision and power grip performance. *PLoS ONE, 8*(1), e53061. https:// doi. org/ 10. 1371/ journ al. pone. 00530 61

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

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/ 13576 50X. 2013. 783045

Welford, W. T., Brebner, J. M., & Kirby, N. (1980). *Reaction times*. Stanford University.

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

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

2. Deuxième série d'expériences : L'importance des verbes d'action

Nos objectifs principaux étaient doubles pour cette deuxième série de travaux. Notre premier objectif était de tester si les verbes d'action modulent l'effet de potentialisation, lorsqu'un mot ou une image est précédé par un verbe d'action comme le prédit l'approche simulationniste, contrairement à l'approche par codage qui ne prédit aucune modulation des verbes d'action. Notre deuxième objectif était de tester une influence possible de la taille visuelle en présentant des images d'objets dans une taille visuelle qui correspond à leur taille réelle, ainsi que des noms d'objets pour lesquels la taille était contrôlée, ce qui nous permettrait à nouveau de distinguer entre l'approche simulationniste et celle par codage. Cette deuxième série de travaux avait également pour but de nous aider à déterminer si l'effet de potentialisation est tributaire d'une approche simulationniste ou plutôt d'une approche par codage. Dans cette section, nous allons d'abord aborder les pistes qui pourraient nous aider dans ce sens, ensuite énoncer les manipulations expérimentales utilisées afin de trancher entre les différentes alternatives théoriques, enfin exposer notre deuxième article.

2.1. Les objectifs

Plusieurs travaux suggèrent qu'observer des effets impliquant un processus de simulation motrice en utilisant de simples noms d'objets saisissables, et tout particulièrement, lorsque la tâche implique un accès automatique à la représentation conceptuelle de l'objet (e.g., tâche de discrimination chromatique), est une chose difficile. En effet, les résultats de Tucker et Ellis, (2004) confirment cette possibilité, alors que d'autre travaux comme ceux de Flumini et al. (2015) l'infirment. En revanche, de nombreux travaux suggèrent qu'un processus de simulation pourrait être à l'œuvre du moment que les mots apparaissent dans une phrase ou sont présentés avec un verbe d'action.

En effet, différents travaux utilisant une méthode comportementale (e.g., Boulenger et al., 2008 ; Fargier et al., 2012 ; Fernandino et al., 2013 ; Glenberg & Kaschak, 2002) ont pu mettre en évidence que la lecture d'un verbe d'action ou d'une phrase qui contient un verbe d'action pourrait induire un effet de potentialisation. Plusieurs autres travaux utilisant une méthode de neuro-imagerie (e.g., Aziz-Zadeh et al., 2006 ; Hauk et al., 2005 ; Moreno et al., 2013 ; Willems et al., 2010) suggèrent une activation des réseaux neuronaux impliqués dans la planification et du contrôle de l'action lors de la lecture d'un verbe d'action ou de phrases évoquant une action composée d'un verbe et d'un nom d'objet. Par ailleurs, certaines études

ont réussi à obtenir un effet de potentialisation lorsque des stimuli linguistiques ont été présentés dans le contexte d'une phrase avec une tâche qui ne requière pas un processus conceptuel (e.g., Aziz-zadeh et al., 2006 ; Buccino et al., 2005 ; Buccino et al., 2017) suggérant qu'un processus de simulation motrice peut se mettre en place automatiquement avec des stimuli linguistiques présentés dans une phrase qui contient un verbe d'action. De ce fait, étant donné qu'il semble compliqué d'obtenir un effet de potentialisation avec des mots (e.g., noms d'objets) lorsqu'on les présente d'une manière isolée, il est possible que lorsqu'ils sont précédés par un verbe d'action un effet de potentialisation motrice peut se mettre en place avec des mots.

En conséquence, dans cette deuxième série de travaux, nous avons présenté aux participants des noms d'objets (i.e., mots) en contrôlant leur taille visuelle, ainsi que des images qui représentent des objets en taille réelle qui étaient précédées d'un verbe qui évoque une action manuelle (i.e., SAISIR) ou qui n'évoque pas d'action (i.e., VOIR). Un non-mot (EXLER) était utilisé comme condition de contrôle. Nous avons également utilisé une tâche de discrimination chromatique qui était réalisée avec un dispositif de réponse permettant la réalisation de deux types de saisie (i.e., saisie puissante vs. saisie fine). Dans le cadre de ce protocole, l'approche simulationniste et celle par codage font des prédictions différentes ce qui pourrait nous permettre de trancher entre ces approches alternatives. En effet, l'approche simulationniste prédit la production d'un effet de potentialisation lorsque les noms et images d'objets sont précédés par le verbe "SAISIR" qui évoque une action manuelle, comme elle peut également prédire que cet effet se produit à la fois avec le verbe "SAISIR" et le verbe "VOIR" qui pourraient activer des micro-affordances. En revanche, l'approche par codage ne prédit aucune modulation des verbes pour l'effet de potentialisation pour les images et les mots. De plus, étant donné que la taille visuelle des mots était contrôlée alors que les images étaient présentées dans une taille réelle, l'approche par codage prédit un effet de potentialisation uniquement sur les images mais pas sur les mots alors que l'approche simulationniste prédit un effet à la fois sur les images et les mots.

2.2. Article 2

Size coding or simulation to explain the motor potentiation effect

Mohamed Halim Harrak (corresponding author)

Loïc P. Heurley

Vincent Dru

Laboratory of Interactions between Action, Cognition and Emotion (LICAE) – Université Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France.

Abstract

The motor potentiation effect of grasping behaviors, namely the fact that the mere perception of a grasping object facilitates compatible motor response. According to the simulationnist account (barsalou, 2008), at a conceptual level, there would be an involvement of motor processes, which will produce motor simulation. However, the size coding account (Miles & Proctor, 2014) suggest that effect could be due to a compatibility of size codes associated with stimuli and responses. Our goal is to test the automatic nature of the simulations with the linguistic stimuli. Given that a potentiation effect is difficult to obtain with words, it is possible that presenting them embedded in a sentence with an action verb could induce a motor simulation. For that, we conducted two experiments. In the first one, we presented verbs (i.e., TO SEE, TO GRASP) and non-word (EXLER) as control condition, just before displaying an object name. Participants were instructed to perform either a precision or power-grip according to the color. The result of the first experiment does not reveal a potentiation effect. Furthermore, verbs do not modulate effect contrary to the simulationnist account prediction. In our second experiment, we used pictures representing objects in real size instead of words. This time, the effect was obtained. It seems that when the object size is available, the effect occurs in line with the size coding account. In addition, the verbs modulate the effect. We observe the effect for power-grip, while for precision-grip only for (EXLER) a matter that is not consistent with the size coding count which does not predict verb modulation. Given that the precision-grip is more related to knowledge, it is conceivable that following the perception of verbs there is an activation of the motor system by mobilizing this precision-grip. Thus, this mobilization disrupts the process of coding the visual size of picture specifically for this response. Nevertheless, this activation could be partial, which could explain why no influence of these verbs was observed during our first experiment. So, the fact that there is this moderation of verbs suggests that it is possible that the coding process is implemented in parallel with the simulation process.

Keywords: Motor potentiation effect, simulationist approach, size coding approach, language, automatic task

The nature of knowledge remains a great matter of debate in Cognitive Sciences. According to the embodied approach of cognition, cognition would not be independent of perception and motor skills (Barsalou et al., 2003). Knowledge or concepts in this view would involve sensorimotor processes. Even more so, the sensorimotor features associated to the concept of "APPLE" (e.g., rounded, sweet, tart, red or green, usually grasped with a power-grip) would be represented in a sensorimotor format as the one used at a sensorimotor level. For instance, the conceptualization of an apple would involve visual processes like those used to perceive the color of the apple. Similarly, the actions associated with the apple (e.g., can be grasped with the hand, can be eaten) would involve the motor system (Pulvermüller, 2010). A particularly influential theory developed in an embodied approach of cognition argue that to conceptualize object, it would be essential to simulate the features of previous experiences associated with the represented object, people, or event, especially by using sensorimotor processes (Barsalou, 2008; Barsalou, 2009; Matheson & Barsalou, 2018).

This sensorimotor simulation theory consists of three major phases. First, when a physical entity or event is perceived, it will be represented thanks to feature detectors activated in the primary sensory areas for each sensory modality (Barsalou et al., 2003). Accordingly, a neural state of activation occurs simultaneously in all sensory modalities (e.g., vision, taste, smell, touch, and hearing). Importantly, this neuronal state will encompass the actions carried out. It is argued that this neuronal state will be then captured by associative neurons located in adjacent areas. Following various encountering with the same object (e.g., various apples) and the capture of each independent neuronal state occurring, a simulator will be constructed, which is a more complex neural network that represents all components of our previous experiences with the object. A simulator is not seen as a static representation of a category but rather like a generator of representations. Thanks to the simulators, a simulation process can then take place. Following the perception of an object, a partial neuronal state occurs (e.g., mere vision of an apple induces a neuronal state into visual areas). After such a partial activation, a process of pattern completion occurs, which led to the activation of the entire network. This happens because the different parts of the network are strongly interconnected and therefore the simple activation of a small part of the network conducted to ignite the entire network. Therefore, the features of the objects extracted from previous encountering and that are not actually perceived will be automatically simulated. It is critical to note that the simulation does not solely encompass visual features (e.g., size), or more largely perceptual features, but also features of

actions that are usually performed (e.g., the specific grasp) with the target object (Barsalou, 2008, 2009).

Tucker and Ellis (2001) reported data supporting this view. In their experiment, they presented pictures of objects usually requiring either a power grip or a precision grip to be grasped. Thanks to a specific response device, participants must actually carry out either a precision grip or a power grip according to the semantic category of objects (i.e., natural vs artificial). Results showed faster precision-grip responses when participants saw small objects associated with a precision grip (e.g., a cherry) compared to larger objects associated with a power grip (e.g., an apple). Conversely, power-grip responses were faster when participants saw large rather than small objects. This effect, called the potentiation effect of grasping behaviors, is interpreted as the following. Merely seeing an object induces the automatic simulation of previous experiences associated with the object that include some a motor component about the usual grasp used to grasp the object. Such a component would in turn potentiate a compatible response (see Derbyshire et al., 2006; Olivier & Velay, 2009; Tucker & Ellis, 1998 for converging evidence).

Although this effect is well explained by the simulation account, an alternative hypothesis has been developed and supported. In this view, the potentiation effect of grasping behaviors could be rather due to a low-level visual feature of the presented objects rather than to the usual action associated to them. Indeed, in the original study of Ellis and Tucker (2000), as well as in the multiple replications of this effect (e.g., Makris et al., 2011; Taylor & Zwaan, 2010; Tucker & Ellis, 2001, 2004; Grèzes et al., 2003), objects differed according to their visual size. More specifically, objects associated with a power grip (e.g., apple) were presented in a larger visual size than objects associated with a precision grip (e.g., strawberry). More precisely, the visual size used is close to the actual size of objects in everyday life. Thus, it could be argued that object associated with a power grip could be coded as “large” and objects associated with a precision grip as “small” because of their visual size. The same reasoning could be applied to the responses. Because power-grip responses were performed on a larger switch than precision-grip responses, both responses could be coded as “large” and “small”, respectively. Accordingly, the potentiation effect could be due to the compatibility/non-compatibility between size codes associated with stimuli and responses rather than because of the simulation of a motor trace. This size-coding hypothesis was first advocated by Miles and Proctor (2014) and Masson (2015) and have recently gained empirical support (see Heurley et al., 2020; Harrak et al., 2022).

Recently, an alternative explanation of the potentiation effect has been proposed (Miles et Proctor, 2014; Masson, 2015). The potentiation effect of grasping behaviors could be rather due to a low-level visual feature of the presented objects rather than to the usual action associated as the size coding account suggests. Indeed, in the original study of Ellis and Tucker (2000), as well as in the multiple replications of this effect (e.g., Makris et al., 2011; Taylor & Zwann, 2010; Tucker & Ellis, 2001, 2004; Grèzes et al., 2003; Heurley et al., 2020; Harrak et al., 2022), objects differed according to their visual size. Accordingly, the potentiation effect could be due to the compatibility/non-compatibility between size codes associated to stimuli and responses rather than to the simulation of a motor component. More specifically, objects associated to a power-grip (e.g., apple) were presented in a larger visual size than objects associated to a precision-grip (e.g., strawberry). Usually, the visual size is close to the actual size of objects in everyday life. It could thus be argued that object associated to a power-grip could be coded as "large" and objects associated to a precision-grip as "small". The same reasoning could be applied to both responses. Because power-grip were performed on a larger switch than precision-grip, both responses could be coded as "large" and "small", respectively.

We recently conducted three experiments bringing an important piece of information in the context of the potentiation effect of grasping behavior (Harrak et al., 2022). In our first experiment, we intermixed pictures and words which represent the same fruits and vegetables either associated with a precision grip or a power grip (e.g., a cherry vs. an apple). In each trial, a fixation cross first appeared followed by the picture or the name of an object. The pictures were first displayed in grayscale and words in black. Then, either the picture or the word was colored in blue or orange. According to the color, the participant had to perform either a power grip or a precision grip. A potentiation effect has been observed for both pictures and words. In a second experiment, we used the exact same protocol except that the picture representing large and small objects, respectively associated with a power grip and a precision grip was no longer presented in a visual size corresponding to their actual size. Thus, all pictures were presented in the same visual size. This time, we did not find any potentiation effect neither for pictures nor for words. This last result supports the possibility that the potentiation effect reported with the words in our first experiment, depended actually on the visual size in which the pictures were presented. Moreover, in our third experiment, we solely presented words of graspable objects without any pictures. In this case, we did not observe any potentiation effect. We interpreted these results with the size coding account. Indeed, the potentiation effect for pictures

presented in a visual size corresponding to their actual size is easy to interpret by a size coding approach unlike the effect obtained on words. We have explained that the effect reported with the words could be due to the fact, that the size codes associated to pictures have been transferred to words. Thereby, when, pictures did not differ according to their visual size, the transfer of size code cannot occur and thus, there is no longer effect on words.

It is noteworthy that our results (i.e., Harrak et al., 2022) are not in line with the ones reported by Tucker and Ellis (2004). Indeed, they were able to find a potentiation effect with words denoting manipulable objects that are not presented intermixed with pictures of these objects. One major difference relies on the task used. Unlike Tucker and Ellis (2004), we did not use a semantic categorization task but rather a chromatic categorization task. The main difference between both tasks could be that the chromatic categorization task did not explicitly require the access to the conceptual representation of the object while it is necessary to achieve the semantic categorization task. Therefore, it is possible that a simulation process can be at work when words are read but only if a conceptual access is required by the task at hand. Therefore, it seems that the simulation processes unlike the coding process is less automatic than original advocated (e.g., Barsalou, 2008).

Therefore, in the current article, we want to investigate whether a simulation process could induce a potentiation effect in a specific context. Thus, we embedded words into sentences. It is likely that when linguistic stimuli are presented in a sentence context, the simulation could be automatic again. Several works support such a possibility. For instance, Aziz-Zadeh et al. (2006) used fMRI to determine whether sentences describing actions performed with different effectors (i.e., hand, mouth, or leg) would activate the part of the agranular frontal cortex (i.e., motor, and premotor zones) also activated when participants observe same actions performed by others or when participants perform themselves the same actions. Participants had to simply read sentences or watch videos depicting actions performed with the hand, mouth, or leg. In their experiment, there are two types of sentences, half are literal sentences (e.g., bite the peach) and the other half are metaphorical sentences (e.g., bite more than you can chew). In the left hemisphere premotor cortex, clear cortical congruence was found between the perception of real action by videos and the reading of actions described by literal sentences. In other words, the authors found a congruence between the cortical activation of the actions that were observed and those of the actions that were verbally described. This provides evidence for the involvement of premotor and motor areas in the conceptual process

of linguistic sentences that describe actions. This data suggests that come motor activations occurs when participants reading sentences in line with the simulation account.

In another study, Buccino et al. (2005) used transcranial magnetic stimulation (TMS) to test whether listening motor-related linguistic stimuli modulates the activity of the motor system. The TMS was applied in the left hemisphere, more specifically into the motor area dedicating to the control of the hand or foot. This study includes two experiments. In the first, the participants simply had to listen either sentences involving actions with the hand or with the foot or abstract sentences (i.e., control condition). Motor evoked potentials were recorded from hand and foot muscles. The results showed a modulation of the motor system specific to the effector describe in the sentences. This result is rather interesting because it shows a specific modulation of the motor system because of the sentences, while the participants did not have explicitly to perform a conceptual task. In the second experiment that was conducted, participants were asked to respond with either hand or foot while listening to the same sentences. Consistent with the results of their first experiment, response times were slower when the participants responded with the same effector as the one involved in the sentences. These interference effect would be due to the simultaneous involvement of the motor system into language processing as well as the achievement of the motor task. It is noteworthy that Gianelli and Dalla Volta (2015) tried to replicate the study by Buccino et al. (2005). Their main purpose was to enlarge the sample size and replicate the results with higher statistical power. The TMS experiment showed significant modulation of hand MEP. They found a motor facilitation when processing hand-related verbs. The direction of the effect is accordingly reversed compared to Buccino et al. (2005) who instead showed an interference effect. In addition, they failed to find any effect in the behavioral experiment. All this behavioral and psychophysiological evidence suggests that a process of simulation might be at work when words appeared into a sentence or when presented with an action verb (even whether some results seem less reliable than others).

Our current study

Accordingly, our goal is twofold. First, we want to test the automatic nature of the simulation process when processing words embedded in a sentence which contains an action verb. Therefore, we used a color categorization task. It is possible that in Harrak et al. (2022, experiment 3), we failed to find any evidence of the involvement of a simulation process because words were presented in isolation (i.e., not embedded into a sentence or associated with an action verb). Thus, we compared two conditions, one in which each name of the graspable

objects was preceded by an action verb (e.g., GRASP) and one in which they are preceded by a non-word (i.e., condition control). Otherwise, we also want to test the size-coding hypothesis on pictures of graspable objects (e.g., Apple; Strawberry) presented in real size. According to the size coding account even when we presented an action verb just before displaying a picture representing a graspable object, this will not disturb the motor potentiation effect to occur.

Thus, we conducted two experiments. In the first experiment, each trial started with a fixation cross, immediately followed by an action verb (i.e., TO GRASP or TO SEE) or a non-word as control condition (i.e., EXLER), itself followed by a determinant (i.e., A or AN). Then, the name (i.e., words that represent graspable objects) of a fruit or a vegetable was presented (written in black) for 200 or 400 ms. After such a delay, the name turned orange or blue. The colored name was kept on the screen until the participant responded. They were instructed to use a response device close to the one originally used by Ellis and Tucker (2000) and must perform either a precision grip or a power grip according to the color of the words. Experiment 2 followed the same procedure except for the fact that words denoting graspable objects were replaced by pictures depicting the same objects in a visual size close to their actual size in everyday life. In addition, it is noteworthy that we used two SOA (i.e., 200 or 400 ms) in order to investigate the temporal window of the potentiation effect. Indeed, various works suggest that the use of a simulation process is a transient phenomenon occurring mainly between 0 and 400 ms when words are processed in isolation and when the task does not directly require to process the stimuli at a conceptual level (for a review see Garcia and Ibanez, 2016).

In both cases, the simulation account and the size coding account of the potentiation effect make different predictions. First, from an embodied viewpoint, we can predict, a potentiation effect both for words (Experiment 1) and pictures (Experiment 2). More precisely, it is possible to predict that this potentiation effect would be moderated by the action verbs. Two predictions can be made. First, it is possible to predict that a potentiation effect should occur for words/pictures when they were preceded by the verb "TO GRASP" evoking a grasping action rather than the verb "TO SEE", or the control non-word "EXLER", because both did not evoke any manual action. It is also possible to predict that the potentiation effect occurs for words/pictures when they were preceded by the verb "TO GRASP" and "TO SEE" but not with the control non-word "EXLER". This last prediction is possible because some authors (e.g., Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001) argue that the mere seeing of objects is enough to induce a sensorimotor simulation process. In a nutshell, the simulation account predicts a potentiation effect in both experiments possibly moderated by the kind of verbs.

Second, for the size coding account, a potentiation effect is predicted when pictures were used (Experiment 2) but not when words were used (Experiment 1). Indeed, a size coding process of stimuli should happen solely for pictures because their visual size is available while it was not the case for words. In addition to the fact, the size coding account did not predict any moderation of the potentiation effect because of the verbs added. Indeed, such verbs should not influence the size coding process of stimuli. Accordingly, the size coding account solely predicts a potentiation effect in Experiment 2 and no moderation by the kind of verbs.

EXPERIMENT 1

Method

Participants. The sample of our first experiment was composed of 26 participants. They were all students at the University Paris-Nanterre. Our sample included 6 females and 24 right-handed. The average age was 20.23 years (s_{age} = 1.42). They all reported having normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind). French is the mother tongue of all participants. All participants were naïve to the goal of the experiment. They all reported correctly perceiving the names and pictures of objects presented during the experiment. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Materials and apparatus. First, we used twelve words denoting objects belonging to the category of fruits and vegetables. Six names denoted large fruits or vegetables usually grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon, and pear), and six names denoted small fruits or vegetables usually grasped with a precision grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish, and strawberry). Eight names were used during the test phase while the four remaining names were used during familiarization trials (see Appendix A). Since our task was to discriminate the color of these names, we carried out three versions of each name: a black, a blue, and an orange version. They were all written on a white background, and they all appeared in a visual size of 72 font. We already used this set of names in our previous work in which we have already checked that the number of letters did not differ between names denoting large and small objects (Harrak et al., 2022). Our goal was to ensure that there was no visual size difference because of the word length. We also controlled other psycholinguistic variables (e.g., frequency; see Harrak et al., 2022). All data were reported in Appendix A.

We also used twelve pictures representing the fruit and vegetable denoted by these

names (see Appendix B). All pictures were in grayscale and were presented on a white background and in a visual size corresponding to the actual size of the fruits and vegetables depicted (i.e., large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm).

We also used two verbs. One is an action verb describing a grasping action: "SAISIR" in French (TO GRASP in English). The other is "VOIR" in French (TO SEE in English). As a control condition, we also used a non-word: "EXLER". It was created thanks to "Word Gen", a non-word generator (Duyck et al., 2004). We choose a five-letters pseudo-word.

The response device was composed of two components that could be taken in one hand at the same time. The first was a small cube ($1cm^3$) held with a precision-grip between the thumb and index-digit. The cube contained a very small switch that required simultaneous pressure of the two digits to be activated. The second component was a larger PVC cylinder (10 cm tall and 3 cm in diameter) that was held with a power-grip. A switch was placed on the free side of the cylinder that was activated when participants squeezed the cylinder with their middle, ring, and little digits simultaneously. We already used the same device in Harrak et al. (2022). It is Both responses were recorded using E-prime v2.0 software on an HP probook 650 G1. I3-4000M, 2.4 GHz computer.

Procedure. The experiment was run in a quiet room, participant was seated facing the monitor (23”; refresh rate: 60 Hz), positioned approximately 60 cm from the participant. In the first phase of the experiment, the twelve names denoting each fruit and vegetable were presented successively written under a grayscale version of the fruit or vegetable that they denoted. Participants simply read aloud the name of each item. The duration of the name’s presentation was controlled by the experimenter, and their order was randomized. In the second phase, the same procedure was repeated except that the pictures were presented without the name of the fruit or vegetable. The aim of these two first preliminary phases was to be sure that the participant correctly knew each fruit and vegetable used in the experimental phases (see Bub, Masson & Cree, 2008, for a similar preparation).

This preliminary phase was followed by two critical phases, a familiarization phase, and a test phase, both using a similar procedure. During each trial, participants first saw a fixation cross presented in the center of the screen for 500 ms. Then, a word was presented. It was either "SAISIR" (i.e., to grasp), "VOIR" (i.e., to see), or EXLER during 400 ms. It was presented in the center of the screen written in black on a white background. This word was followed by a determinant (i.e., "a" or "an"; according to the name that followed, we used "un" or "une" in French) during also 400 ms that was itself presented in the center of the screen written in black

on a white background. Right after, the name of a fruit or of a vegetable was presented in the center of the screen, also written in black on a white background, for 200 or 400 ms. Finally, this name was colored in orange or blue and it remained on the screen until the participant responded. Following the response, a blank screen appeared for 1500 ms before the next trial commenced.

Participants were instructed to categorize, as soon as possible, the colors of the words. An explanation was provided about the mapping between each switch response and each color (i.e., power grip for blue vs. precision grip for orange; counterbalanced between participants). It is noteworthy that to prevent habituation to items, the fruit/vegetable used in the familiarization phase (i.e., peanut, radish, banana, and lemon), were different to the ones used in the test phase (i.e., cherry, grape, hazelnut, strawberry, apple, avocado eggplant, and pear). In addition, to prevent responses' anticipation, names written in black were presented either during 200 or 400 ms. Accordingly, each word (i.e., TO GRASP, TO SEE, and EXLER) were presented with each name (e.g., TO GRASP/AN/APPLE or TO SEE/A/STRAWBERRY). Thus, there are 24 possibilities in the test phase and 12 possibilities in the familiarization phase.

The test phase was composed of 2 blocks of 96 trials (192 trials). In each bloc, we randomly presented four times each eight test names with each three words (24 possibilities). In a half of trials, names were colored in orange and for the other half, they were colored in blue. Similarly, in half of the trials, names were presented during 200 ms while for the other half, they were presented during 400 ms. The familiarization phase was composed of 12 trials. In the final phase of the experiment, participants completed a short questionnaire and the Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2013).

Results

We solely examined Response Times (RTs) because there were too few errors (2.52%). Accordingly, we used a repeated measures ANOVA with the participants as a random factor, the type of verbs (EXLER vs. TO GRASP vs. TO SEE), the conceptual size of the word (large vs. small), and the type of responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials (2.52% of the data), and below 200 ms or above 1200 ms (1,28% of the data) following the methodology used in our previous study (Harrak et al., 2022).

First, the ANOVA did not reveal any statistically significant main effects: (1) the type of responses, $F(1, 25) = 0.56$, $p = 0.45$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{precision\text{-}grip\ response} = 479$ms, $s_{precision\text{-}grip\ response} = 71$ vs. $m_{power\text{-}grip\ response} = 484$ ms, $s_{power\text{-}grip\ response} = 67$), (2) the conceptual size of the word, $F(1, 25) = 1.76$, $p = 0.19$, $\eta_p^2 = 0.06$ ($m_{conceptual\ size\ [Large]\ of\ the\ word} = 484$ms, $s_{conceptual\ size\ [Large]\ of\ the\ word} = 73$ vs. $m_{conceptual\ size\ [Small]\ of\ the\ word} = 479$ ms, $s_{conceptual\ size\ [Small]\ of\ the\ word} = 65$) and (3) the type of verbs, $F(1, 25) = 0.13$, $p = 0.87$, $\eta_p^2 = 0.00$ ($m_{grasp} = 482$ ms, $s_{grasp} = 67$ vs. $m_{see} = 482$ ms, $s_{see} = 72$ vs. $m_{exler} = 480$ ms, $s_{exler} = 69$). Moreover, the ANOVA did not reveal a statistically significant Conceptual Size of x Verbs Type interaction, $F(1, 25) = 1,87$, $p = 0.16$, $\eta_p^2 = 0.06$, nor Verbs type x Response Type interaction, $F(1, 25) = 1.33$, $p = 0.27$, $\eta_p^2 = 0.05$. More importantly, the ANOVA did not reveal a statistically significant Conceptual Size x Response Type interaction, $F(1, 25) = 1.88$, $p = 0.18$, $\eta_p^2 = 0.07$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons). The planned comparisons did not reveal a statistical difference between a power-grip RTs for words with a large conceptual size ($m = 485$ ms, $s = 70$) and words with a small conceptual size ($m = 483$ ms, $s = 66$), $F(1, 25) = 0.06$, $p = 0.79$, $\eta_p^2 = 0.00$, alike the difference between precision-grip RTs for words with a small conceptual size (m = 474 ms, s = 65) and words with a large conceptual size ($m = 483$ ms, $s = 76$), $F(1, 25) = 3.38$, $p = 0.07$, $\eta_p^2 = 0.12$.

Interestingly, the ANOVA did not reveal a statistically significant of the three-way interaction (Verbs type x Conceptual Size x Responses Type interaction) (see Figure 1), $F(1, 25) = 0.91$, $p = 0.40$, $\eta_p^2 = 0.03$. Nevertheless, if we closely look at Figure 1, we can see a slightly different pattern between verbs and non-words. Thus, to go further, we achieved planned comparisons. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .008$ after a Bonferroni correction considering a family of six comparisons). First, for the verb TO SEE, the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for words with a large conceptual size ($m = 488$ms, s = 80) and words with a small conceptual size ($m = 485$ms, $s = 71$), $F(1, 25) = 0.19$, $p = 0.66$, $\eta_p^2 = 0.0$, while the difference between precision-grip RTs for word with a small conceptual size ($m = 467$ms, $s = 58$) and words with a large conceptual size ($m = 490$ms, $s = 79$) was statistically significant, $F(1, 25) = 6.63$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.21$. Second, for the verb TO GRASP, the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for words with a large conceptual size ($m = 491$ms, s = 65) and words with a small conceptual size ($m = 484$ms, $s = 59$), $F(1, 25) = 0.71$, $p = 0.40$, $\eta_p^2 = 0.03$, like the difference between precision-grip RTs for words with a small

conceptual size (*m* = 472ms, *s* = 68) and words with a large conceptual size (*m* = 480ms, *s* = 77), $F(1, 25) = 0.90$, $p = 0.34$, $\eta_p^2 = 0.04$. Third, for the non-word EXLER, the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for words with a large conceptual size (*m* = 476ms, s = 66) and for words with a small conceptual size (*m* = 482ms, *s* = 69), $F(1, 25) = 0.31$, $p = 0.58$, $\eta_p^2 = 0.01$, as well as the difference between precision-grip RTs words with a large conceptual size (*m* = 479ms, *s* = 76), $F(1, 25) = 0.23$, $p = 0.63$, $\eta_p^2 = 0.01$ and for words with a small conceptual size (*m* = 483ms, *s* = 71).

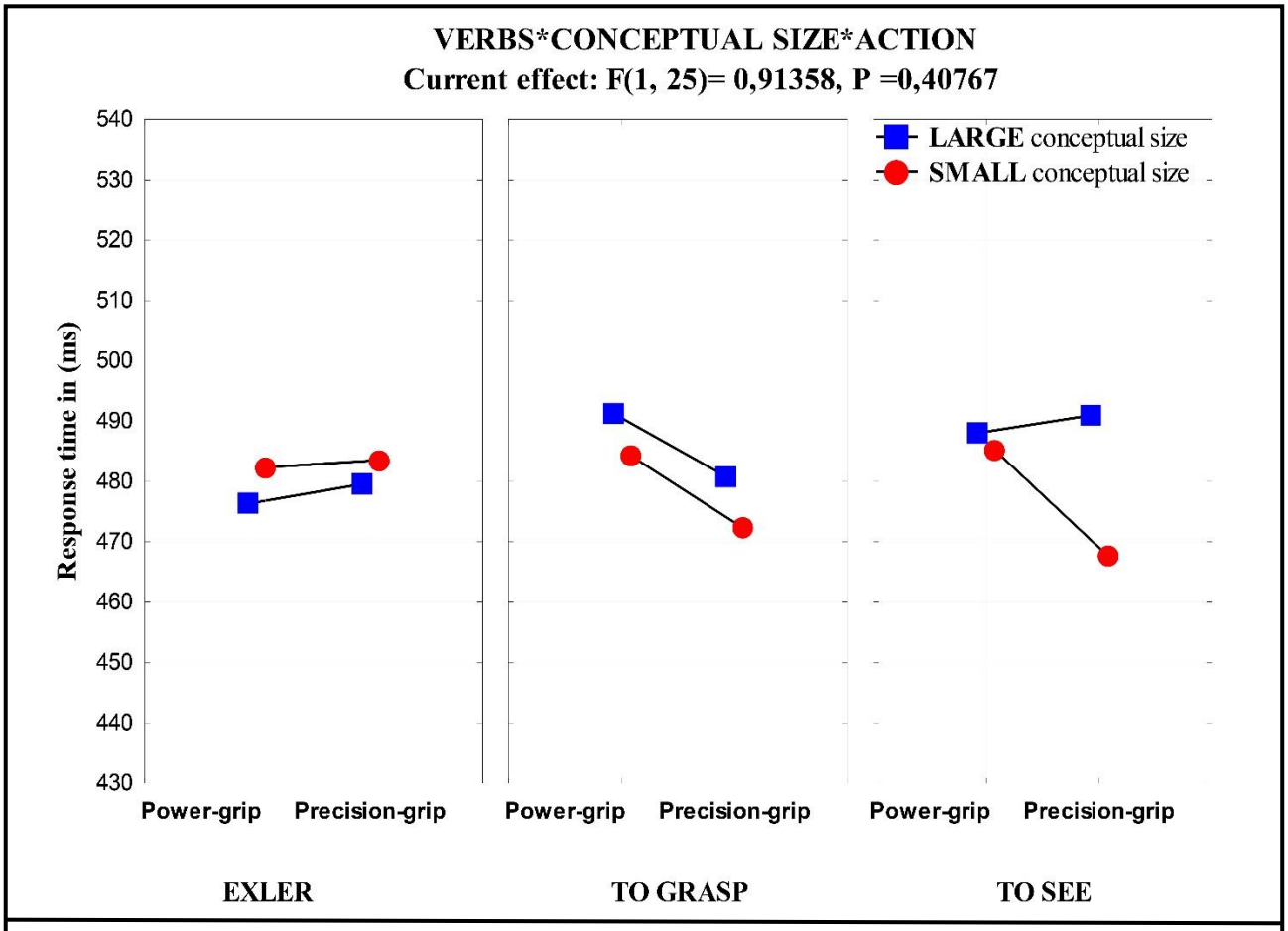


Figure 1. Mean RTs (in ms) of Experiment 1 according to the type of verbs (EXLER vs. TO GRAB vs. TO SEE), the conceptual size of the word (large vs. small), and the type of responses (power-grip vs. precision-grip).

Discussion

Our main objective was to test if action verb were able to induce a sensorimotor simulation with words of graspable objects. For this, we performed a color categorization task on names of

objects embedded in a sentence containing an action verb. Therefore, we seek to show whether the potentiation effect of words can be moderated by action verbs. The results show absence of motor potentiation effect. More importantly, the Verbs (TO GRASP, TO SEE) and the non-word (EXLER) not modulate the potentiation effect. First, these results are consistent with the study of Harrak et al. (2022) in which the mere perception of a word representing a graspable object was not sufficient to generate a potentiation effect in the peculiar case of a color categorization task while it is not consistent with the simulationnist account (Barsalou, 2008; Barsalou, 2009). Indeed, according to this last view, the mere vision of words should induce a sensorimotor simulation able to induce a potentiation effect. Even more so, when the words were preceded by an action verb like "GRASP" or the verb "SEE" which can promote the activation of micro-affordances. Thus, our results instead suggest that a sensorimotor simulation does not seem to be at work when graspable object words are automatically processed.

On the other hand, this lack of a potentiation effect is consistent with the size coding account. Indeed, according to this view, size coding only occurs when visual size is available through the pictures, whereas in this experiment only words were presented. Furthermore, as predicted by the size coding account, no moderation of the potentiation effect with the action verbs was observed. Taken together, these results of the first experiment reinforce the size coding account as part of a color categorization task that requires automatic processing rather than a motor simulation as suggested by simulationnist account.

To go further, we carried out a second experiment which has almost the same procedure as the first one except that words have been replaced by pictures depicting the same objects. It is noteworthy that graspable objects were depicted in a visual size matching their actual one. Thus, pictures that represent large objects (e.g., apple, pear) are visually larger than pictures that represent small objects (e.g., cherry, strawberry). Our main goal was twofold. First, we want to investigate whether a potentiation effect can be obtained when the visual size is available. Second, we want to test whether such a visual-based potentiation effect could be modulated by the kind of verb preceding the picture. According to the simulationnist account, we can expect a modulation of the potentiation effect while the size coding account, not predict any influence of verbs.

EXPERIMENT 2

Method

Participants. The sample of our second experiment was composed of 27 participants. They were all students at the University Paris-Nanterre. Our sample included 8 females and 26 right-handed. The average age was 19.85 years (s_{age} = 0.98). They all reported having normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind). French is the mother tongue of all participants. All participants were naïve to the goal of the experiment. They all reported correctly perceiving the names and pictures of objects presented during the experiment. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Material and apparatus and procedure.

This experiment was similar to Experiment 1 except that we used pictures of objects instead of their name. Accordingly, the twelve names used in Experiment 1 were replaced by twelve pictures depicting the same fruits/vegetables (already used in previous studies, Heurley et al., 2020; Harrak et al., 2022). Six pictures were large fruits or vegetables usually grasped with a power-grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon, and pear) and six were small fruits or vegetables usually grasped with a precision-grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish, and strawberry). We used 8 pictures during the test phase while the 4 remaining pictures were used during the familiarization phase (see Appendix B). We designed three versions of each picture: a grayscale, a blue, and an orange version. All pictures were presented on a white background and in a visual size corresponding to the actual size of the fruits and vegetables depicted (i.e., large objects ≈ 10 cm and small objects ≈ 3 cm).

The procedure was also like that of Experiment 1 with the exception to that fact that during each trial, the names of objects were replaced by pictures. Thus, each trial proceeded as follows: First, participants saw the fixation cross (500 ms) followed by one of the three possible words (i.e., TO GRASP, TO SEE, or EXLER) during 400 ms, itself followed by a determinant also during 400 ms. Immediately after the grayscale version of the picture of a fruit or of a vegetable was presented in the center of the screen. After 200 or 400 ms, the picture was colored in orange or blue. After participants responded, a blank screen appeared for 1500ms before the next trial commenced.

Results

We solely examined Response Times (RTs) because there were too few errors (2,32%). Accordingly, we used a repeated measures ANOVA with the participants as a random factor, the type of verbs (EXLER vs. TO GRASP vs. TO SEE), the visual size of pictures (large vs. small) and the type of responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials (2,32% of the data), and below 200 ms or above 1200 ms (1,19% of the data).

As in the first experiment, the ANOVA did not reveal neither a main effect of the Verbs Type, $F(1, 26) = 1.01$, $p = 0.37$, $\eta_p^2 = 0.03$ (m_{grasp} = 477ms, s_{grasp}= 72 vs. m_{see} = 472ms, s_{see}= 68 vs. m_{exler}= 470ms, s_{exler}= 63) , nor a main effect of the type of responses, $F(1, 26) = 0.76$, $p = 0.38$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{precision\text{-}grip\ response}$= 470ms, $s_{precision\text{-}grip\ response}$= 69 vs. $m_{power\text{-}grip\ response}$= 476ms, $s_{power\text{-}grip\ response}$= 66). On the other hand, unlike the first experiment, the ANOVA revealed a main effect of the visual size of picture, $F(1, 26) = 6.88$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.20$. Participants' RTs was shorter when responding to large objects (m = 469 ms, s = 69) than to small ones (m = 477 ms, s = 67).

Moreover, the ANOVA did not reveal a statistically significant Visual Size x Verbs Type interaction, $F(1, 26) = 0.89$, $p = 0.41$, η_p^2= 0.03, nor a statistically significant Verbs type x Response Type interaction, $F(1, 26) = 1.80$, $p = 0.17$, η_p^2= 0.06. More importantly and unlike Experiment 1, the ANOVA revealed a statistically significant Visual Size x Response Type interaction, $F(1, 26) = 18.3$, $p = 0.0002$, η_p^2= 0.41. 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 difference between power-grip RTs for large objects (m = 459ms, s = 62) and for small ones (m = 493ms, s = 65) was statistically significant, $F(1, 26) = 26.94$, $p = 0.00002$, η_p^2= 0.51, alike the difference between precision-grip RTs for small objects (m = 460 ms, s = 64) compared to large one (m = 479 ms, s = 73), $F(1, 26) = 6.60$, $p = 0.01$, η_p^2= 0.20.

Interestingly, the ANOVA revealed also a statistically significant three-way interaction between the Verbs type, the Visual Size and the Responses Type, $F(1, 26) = 3.38$, $p = 0.041$, η_p^2= 0.11 (see Figure 2). Thus, to go further, we achieved planned comparisons. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .008$ after a Bonferroni correction considering a family of six comparisons). First, for the non-word EXLER, planned comparisons

revealed that the difference between power-grip RTs for large objects (*m* = 447 ms, *s* = 56) and small objects (m = 496 ms, s = 65) was statistically significant , $F(1,26) = 28.58$, $p = 0.000014$, $\eta_p^2 = 0.52$, like the difference between precision-grip RTs for small objects (*m* = 456ms, *s* = 56) and large ones (*m* = 479ms, *s* = 66), $F(1, 26) = 10.58$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.29$. Second for the verb TO GRASP, planned comparisons revealed that the difference between power-grip RTs for large objects (*m* = 462 ms, *s* = 68) and small objects (m = 491 ms, s = 62) was statistically significant, $F(1, 26) = 15{,}29$, $p = 0.0005$, $\eta_p^2 = 0.37$, while the difference between precision-grip RTs for small objects (*m* = 468 ms, *s* = 70) and large ones (*m* = 484 ms, *s* = 86) did not reach the corrected significance threshold, $F(1,26) = 1.91$, $p = 0.17$ $\eta_p^2 = 0.07$. Third, for the verb TO SEE, planned comparisons revealed that the difference between power-grip RTs for large objects (*m* = 466 ms, *s* = 63) and small objects (m = 492 ms, s = 70) was statistically significant, $F(1,26) = 8.03$, $p = 0.008$, $\eta_p^2 = 0.24$, while the difference between precision-grip RTs for small objects (*m* = 457 ms, *s* = 68) and large ones (*m* = 473 ms, *s* = 68) did not reach the corrected significance threshold, $F(1,26) = 4.93$, $p = 0.035$, $\eta_p^2 = 0.16$.

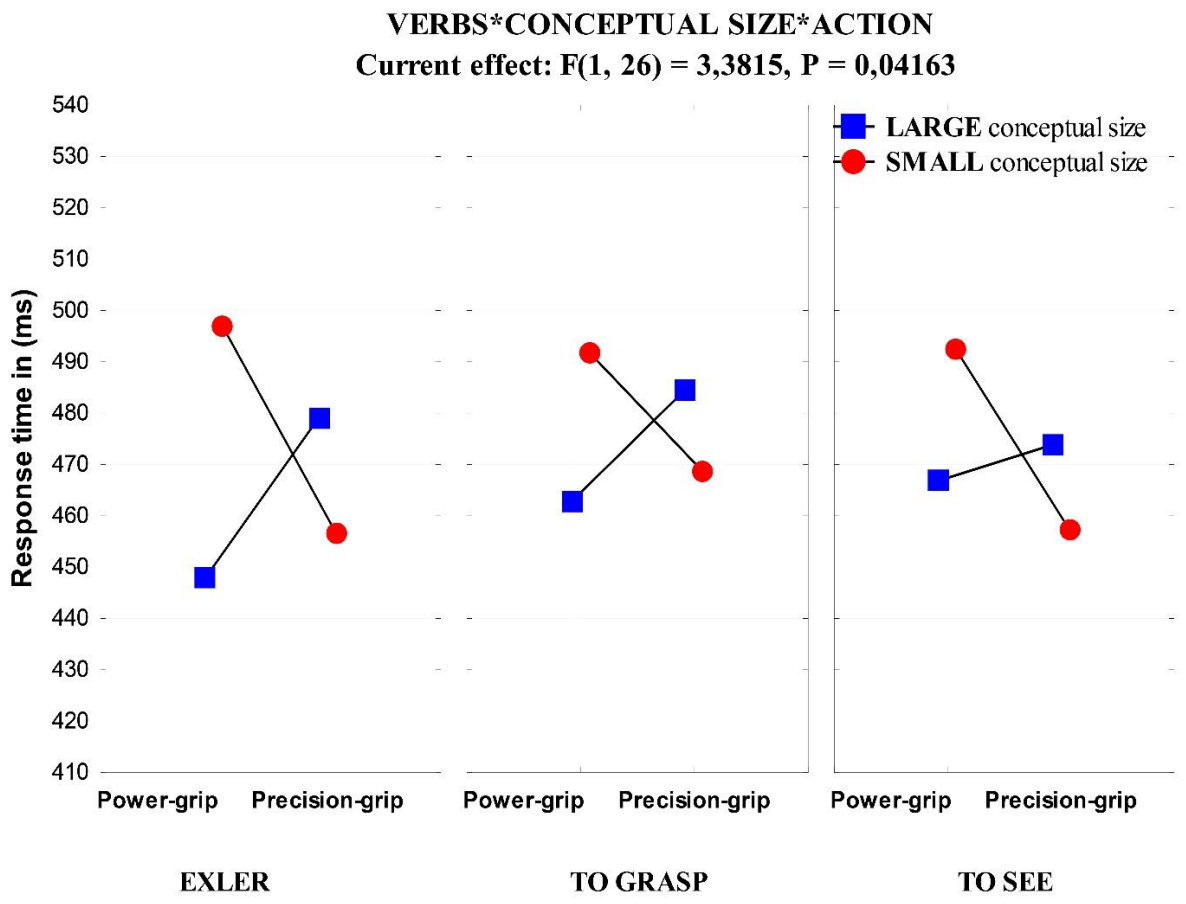


Figure 2. Mean RTs (in ms) of Experiment 2 according to the type of verbs (EXLER vs. TO GRAB vs. TO SEE), to the visual size of the picture (large vs. small), and the type of responses (power-grip vs. precision-grip).

Discussion

In this second experiment, our goal is to test whether the potentiation effect with pictures could be moderated by action verbs. Even in our last study (Harrak et al., 2022) we have already succeeded in having a potentiation effect with the same picture used in this study, the fact of integrating action verbs into our procedure seems to slightly disrupt the potentiation effect for pictures. More precisely, unlike our first experiment, the potentiation effect is significant. Indeed power-grip RTs were faster when large than small objects were presented while precision-grip RTs were faster when small than large objects were presented. Obviously, when the visual size of the object is available thanks to the picture, the potentiation effect occurs as predicted by the size coding account. Second and most importantly, the type of verb used modulate the potentiation effect. We observed a significant potentiation effect for the power-grip with the two verbs (TO GRASP and TO SEE) and the non-word (EXLER), while we

observed a significant potentiation effect for the precision-grip only for (EXLER). However, what we found to be even more surprising was that the most important interaction occurs with the non-word "EXLER." This last result can be explained as follow. From a simulationnist account, one should expect a reverse effect: a facilitation when the verb GRASP precedes the picture, or eventually the verb SEE. Thomas (2015), on the other hand, reported data suggesting that precision-grip (compared with power-grip) could be more linked to the parvocellular pathway that possibly suggest a closer link to the ventral stream. This ventral pathway involved in object recognition and thus essentially involves knowledge. Thereby, it could be argued that since the verbs, "TO SEE" and " TO GRASP" can activate micro affordances activating the motor system whereas the precision-grip response is more related to knowledge, this can disrupt the coding process for pictures with this specific response. This could explain the fact that we observe a potentiation effect for the precision-grip with the non-word "EXLER" unlike "TO SEE" and "TO GRASP", because this non-word used as a control condition has not activated the motor system and therefore does not disturb the size coding of pictures. In any case, this modulation of verbs and for the potentiation effect should not be taken lightly. Even if for the moment we cannot say anything with certainty, this path deserves to be further explored in order to help us better understand the potentiation effect of grasping behaviours for linguistic stimuli.

GENERAL DISCUSSION

Our main goal was to better understand the potentiation effect of grasping behaviours (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001, 2004) with linguistic stimuli. Indeed, some researchers suggest that the potentiation effect stems from a motor simulation (Barsalou, 2009; Ellis & Tucker, 2000, Tucker & Ellis, 2001, 2004). Others, however, assume instead that the involvement of size code process (Harrak et al., 2022; Heurley et al., 2020; Proctor & Cho, 2006; Proctor & Miles, 2014). Overall, our results mainly support the size coding account. Nevertheless, some results are consistent with the simulationnist account. We further discuss our results in the three following sub-sections.

The simulationnist account

In our first experiment, we did not obtain any potentiation effect on words. This result is not consistent with the simulationnist account which predicts an effect on words even when the task

does not involve conceptual processing. According to this point of view, the simple perception of a graspable object or its name is sufficient to induce a motor simulation which produces a motor potentiation effect. It is noteworthy that, initially, proponents of the simulationnist account argue that the motor simulation should take place automatically (Barsalou, 2008). However, if stimuli have necessarily to be process at a conceptual level, it would mean that the motor simulation process is not as automatic as originally envisioned and would not be a universal process but rather something that requires some intentionality. In fact, Tucker & Ellis (2004) successfully generated a potentiation effect with words using a semantic categorization task that can promote the conceptual processing of the words while we rather used a colour categorization task, which did not require such a level of processing. Therefore, it is possible that the automatic processing of the words in this first experiment prevent the occurrence of a motor simulation and in turn, the occurrence of any potentiation effect. This interpretation is in line with the view of Garcia and Ibanez (2016) who argue that task used is a critical factor into the emergence potentiation effect in the case of linguistic stimuli. Indeed, they explained that, in their review, the potentiation effect occurs more systematically in the case of a semantic categorization task while it is not the case when the task require a color categorization of the words. Nevertheless, in our previous study (Harrak et al., 2022), we generated a potentiation effect with words, when they presented with pictures even with a task that does not require conceptual processing. However, several studies suggest that action verbs can modulate the motor system (e.g., Boulenger et al., 2008; Fargier et al., 2012; Hauk et al., 2005; Moreno et al. 2013; Willems et al., 2010). Furthermore, some studies have succeeded in obtaining a potentiation effect when linguistic stimuli were presented in the context of a sentence with a task that does not require a conceptual process (e.g., Aziz-zadeh et al., 2006; Buccino et al., 2005) suggesting that a motor simulation process can take place automatically with linguistic stimuli presented in a sentence that contains an action verb. Based on this idea, in our current work we added an action verb preceding before the target stimuli in order to create a linguistic context able to increase the possible to use a motor simulation process.

Whereas in the second experiment and, when pictures representing natural objects were used, a potentiation effect was obtained even with a task that requires automatic processing. (i.e., color categorization task). In addition, this potentiation effect is moderated by the action verbs but not as the simulationnist account predicted (Barsalou, 2008, 2009). Indeed, even if a potentiation effect was obtained with the verb "To GRASP" and the verb "To SEE", the partial square state indicates to us that the greatest interaction was obtained with the non-word "EXLER". Now if we look precisely at what is happening, the comparison plan tells us that

things are not going the same way for precision-grip and power-grip responses. In point of fact for the "Power-grip" the interaction is confirmed for the two action verbs, "To GRASP" and "To SEE" and for the non-word "EXLER". While for precision-grip the interaction is not confirmed for "To GRASP" and "To SEE" unlike "EXLER". This different influence of "Power-grip" and "Precision-grip" is also present in the literature. Some researchers suggest that the precision-grip which is a finer grip that might be more knowledge sensitive. For instance, Thomas (2015) reported data suggesting that precision-grip (compared with power-grip) could be more linked to the parvocellular pathway that possibly suggest a closer link to the ventral stream. This ventral pathway extends from the primary visual cortex to the intertemporal lobe and is involved in object recognition.

Thus normally, with the verb "To GRASP" one could expect an important effect of precision grip being that the verb evokes a manual action, and that precision-grip is sensitive to knowledge. Instead, we observed an inhibition of this interaction with the precision-grip for the verb "To GRASP" and "TO SEE", unlike the non-word EXLER. One could argue that given that the precision-grip is primarily linked to the ventral pathway which involves an influence of knowledge, it is possible that following the perception of the verbs "TO GRASP" and "TO SEE" (who could activate micro-affordance) there is an activation of the motor system by mobilizing the precision-grip and thus disrupts the process of coding the visual size of picture specifically for this response. Nevertheless, this mobilization of precision grip with the verbs "TO SEE" and "TO GRASP" could be partial, which could explain why no influence of these verbs was observed during our first experiment. This could also explain the fact that, we observed a potentiation effect for the precision-grip with the non-word "EXLER" unlike "TO SEE" and "TO GRASP". That is due to the fact that, this non-word used as a control condition has not activated the motor system and therefore does not disturb the coding of pictures. Thus, it is conceivable that the language can activate the motor system in a more important way when the task involves conceptual processing while it activates it in a partial way if the task requires automatic processing. Therefore, our results suggest that there could be a simulation process that takes place in parallel with the coding. Nevertheless, it is necessary to use other types of tasks to confirm these suggestions in a stronger way. More specifically, it would be wise to establish a protocol with linguistic stimuli in which two experiments are established with a variation of the nature of the task for each of them. The first, for example, will use a task that would involve automatic processing while the second would involve conceptual processing. Indeed, this will allow us to observe the difference between these two tasks for the modulation of the motor system with linguistic stimuli.

Size coding account

In agreement with the predictions of a size coding account, we did not obtain a potentiation effect in our first experiment with words which could be explained by the fact that the visual size of the words was controlled nor allows their size coding. Additionally, verbs did not modulate the potentiation effect for words in line with the size coding account. On the other hand, in our second experiment when pictures were presented in a visual size that corresponds to their actual size a motor potentiation effect was obtained, according to the prediction of the size coding account. Obviously, this potentiation effect obtained during our second experiment is due to the availability of the visual size of the picture that represent objects. Because, unlike our second experiment, when visual object size was not available the size coding of words is not occurred. Presumably, in a color task that involves automatic processing, the size coding account better explain the emergence of a potentiation effect without resorting to a simulation process (for converging evidence, see Harrak et al., 2022). Our results are consistent with some studies in the literature (i.e., Cho & Proctor, 2012; Makris et al., 2011) which show that it is possible to generate stimulus-response compatibility effects with color categorization tasks. In addition, Cho and Proctor (2012) study provides major support for the size coding account compared to the simulation account given that no compatibility effect was provided when the task was a judgment on the form or even the orientation, which is assumed to be more appropriate for causing a simulation than a color categorization task. However, things are not that simple, several studies in the literature on the stimuli-response compatibility effect suggest that the color categorization task does not achieve a motor potentiation effect. Indeed, Pellicano et al. (2010) suggest that a color categorization task did not elicit a compatibility effect, unlike orientation judgments. Church and Nicholls (2016) find a compatibility effect when judgments of orientation, form, or even function are used, unlike a color categorization task. Another study by Tipper et al. (2006) reports converging evidence suggesting that a compatibility effect occurs when participants made judgments about the shape but not color. Overall, the results of our experiments demonstrate the critical role of visual size (see Harrak et al., 2022) of objects and suggest that the size coding account is the best suited to explain this potentiation effect as part of a color task that requires automatic processing.

A limitation of the size coding account

Even if the potentiation effect in our second experiment can explained by the size coding account, the fact that verbs modulate the potentiation effect is difficult to explain using this

approach. Indeed, according to this view, there should not be a modulation of action verbs or other kind of verb for the motor potentiation effect occurrence. So, the fact that there is this moderation of verbs tells us that it is possible in some cases, the coding is implemented in parallel with other secondary processes (e.g., simulation). However, other supplementary results will be necessary to confirm this, especially with using a semantic categorization task rather a color categorization task as we have done.

Conclusion

Our experiments reveal a critical role of the visual size in which the objects were presented. The results of the experiments suggest that the potentiation effect can be explained by a size coding account rather than by motor simulation as part of a color categorization task that requires automatic processing. However, our results also suggest that there could be simulation process that takes place in parallel with the size coding. In order better understand the stimulus-response compatibility effect of grasping behaviors with linguistic stimuli, future studies should focus on the use of two tasks with different nature for the same protocol. For example, implemented a task that involves automatic processing for the first experiment and implemented a task that involves conceptual processing for the second experiment. This will allow observation the specific modulation of task for motor system with linguistic stimuli.

Declarations

Conflict of interest: All authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval: All procedures performed in 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.

REFERENCE

American Psychological Association. (2017). *Ethical principles of psychologists and code of conduct*. Author. http://www.apa.org/ethics/code/

Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent Embodied Representations for Visually Presented Actions and Linguistic Phrases Describing Actions. *Current Biology*, *16*(18), 1818-1823. https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.060

Barsalou, L. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes*, *18*(5), 1. https://doi.org/10.1080/769813547

Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617-645. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639

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

Borghi, A. M., Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2004b). Putting words in perspective. *Memory & Cognition*, *32*(6), 863-873. https://doi.org/10.3758/bf03196865

Bub, D. N., Masson, M. E., & 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

Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system : A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, *24*(3), 355-363. https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.020

Buccino, G., dalla Volta, R., Arabia, G., Morelli, M., Chiriaco, C., Lupo, A., Silipo, F., & Quattrone, A. (2018). Processing graspable object images and their nouns is impaired in Parkinson's disease patients. *Cortex*, *100*, 32-39. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.03.009

Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2012). 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

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

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

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

Flumini, A., Barca, L., Borghi, A. M., & Pezzulo, G. (2014). How do you hold your mouse ? Tracking the compatibility effect between hand posture and stimulus size. *Psychological Research*, *79*(6), 928-938. https://doi.org/10.1007/s00426-014-0622-0

García, A. M., & Ibáñez, A. (2016). A touch with words : Dynamic synergies between manual actions and language. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *68*, 59-95. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.04.022

Garofalo, G., Marino, B. F. M., Bellelli, S., & Riggio, L. (2021b). Adjectives Modulate Sensorimotor Activation Driven by Nouns. *Cognitive Science*, *45*(3). https://doi.org/10.1111/cogs.12953

Gianelli, C., & dalla Volta, R. (2015). Does listening to action-related sentences modulate the activity of the motor system ? Replication of a combined TMS and behavioral study. *Frontiers in Psychology*, *5*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01511

Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 558-565. https://doi.org/10.3758/bf03196313

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

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

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. E., & Barsalou, L. W. (2018). Embodiment and grounding in cognitive neuroscience. *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience*, *3*, 1-27.

Olivier, G., & Velay, J. L. (2009b). Visual objects can potentiate a grasping neural simulation which interferes with manual response execution. *Acta Psychologica*, *130*(2), 147-152. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.11.004

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

Pellicano, A., Iani, C., Borghi, A. M., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2010). Simon-Like and Functional Affordance Effects with Tools : The Effects of Object Perceptual Discrimination and Object Action State. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(11), 2190-2201. https://doi.org/10.1080/17470218.2010.486903

Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence : A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin*, *132*(3), 416-442. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.416

Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus–response compatibility effects?. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 60, pp. 227-266). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8

Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception : sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(5), 351-360. https://doi.org/10.1038/nrn2811

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing Properties Locally. *Cognitive Psychology*, *43*(2), 129-169. https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0754

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, *32*(2), 244-259. https://doi.org/10.3758/bf03196856

Saccone, E. J., Churches, O., & Nicholls, M. E. R. (2016). Explicit spatial compatibility is not critical to the object handle effect. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *42*(10), 1643-1653. https://doi.org/10.1037/xhp0000258

Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2010). Grasping spheres, not planets. *Cognition*, *115*(1), 39-45.

Tipper, S. P., Paul, M. A., & Hayes, A. E. (2006). Vision-for-action : The effects of object property discrimination and action state on affordance compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 493-498. https://doi.org/10.3758/bf03193875

Thomas, L. E. (2015). Grasp Posture Alters Visual Processing Biases Near the Hands. *Psychological Science*, *26*(5), 625-632. https://doi.org/10.1177/0956797615571418

Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *24*(3), 830.

Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, *8*(6), 769-800. https://doi.org/10.1080/13506280042000144

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. (2013). 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

Appendix. List of words used with (1) the phase in which they were used (familiarization or test), (2) the size associated to the object denoted (large or small), (3) their English names, (4) their French names, (5) their associated film-frequency (from Lexique3.org, New et al., 2004), (6) their associated book-frequency (also from Lexique3.org, New et al., 2004) and (7) their number of letters. Both frequencies were reported per million of occurrences.

Phase	Associated size	English name	French name	Film frequency	Book Frequency	Number of letters
Familiarization	Large	LEMON	CITRON	8.10	9.05	6
Familiarization	Large	BANANA	BABANE	6,09	4,05	6
Familiarization	Small	RADISH	RADIS	1,81	3,11	5
Familiarization	Small	PEANUT	CACAHUETTE	1,71	0,74	10
Test	Large	APPLE	POMME	19,77	46,08	5
Test	Large	PEAR	POIRE	5,67	10,81	5
Test	Large	EGGPLANT	AUBERGINE	0,35	0,61	9
Test	Large	AVOCADO	AVOCAT	89,28	24,32	6
Test	Small	CHERRY	CERISE	2,75	3,31	6
Test	Small	STRAWBERRY	FRAISE	5,28	3,92	6
Test	Small	HAZELNUT	NOISETTE	0,57	1,69	8
Test	Small	GRAPE	RAISIN	5,88	4,86	6

3. Troisième série d'expériences : Le transfert de code de taille

Notre objectif dans cette troisième série de travaux était de tester la possibilité d'un transfert de code de taille grâce à des nombres (i.e., 1000 vs. 1) et des adjectifs (i.e., grand vs. petit) qui pourrait induire un effet de potentialisation motrice sur des mots (i.e., noms d'objets). L'approche simulationniste (i.e., Barsalou, 2008) prédit une absence d'effet de potentialisation avec les adjectifs et les nombres, car ces stimuli ne devraient pas induire une simulation motrice d'une saisie puissante ou fine. De ce fait, cette troisième série de travaux avait principalement pour but de nous aider à essayer de trancher entre une approche par codage de taille et celle de polarité. En effet, si un effet de potentialisation n'est pas observé avec les adjectifs et les nombres, cela fournira une preuve en faveur de l'approche par codage de taille, car la taille visuelle n'est pas disponible, ce qui pourrait expliquer l'absence de l'effet. En revanche, si un effet de potentialisation est observé avec des nombres et des adjectifs, cela signifie qu'il s'est produit une compatibilité de code entre la taille visuelle des réponses et la taille conceptuelle des stimuli. Ainsi, cela signifie qu'il s'est produit une compatibilité de code entre différentes formes de dimensions (i.e., perceptuelle et conceptuelle), ce qui est plutôt cohérent avec l'approche de Proctor et Cho (2006) qui prédit cette possibilité et suggère entre autres que les stimuli peuvent être codés avec des codes de polarité s'ils diffèrent par rapport à la dimension perceptive, conceptuelle et structurelle. Alors que la théorie par codage de taille (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015) prédit uniquement une compatibilité de code basé sur la taille visuelle et ne suggère pas la possibilité d'une compatibilité de code entre différentes dimensions. Néanmoins, si un effet de potentialisation est observé avec les nombres et les adjectifs, cela pourrait être cohérent avec l'approche par codage de taille puisqu'un codage basé sur la taille conceptuelle est envisageable, même si la théorie initiale de codage de taille n'a pas mentionné cette possibilité. Dans cette section, nous allons d'abord aborder les pistes qui pourraient nous aider dans ce sens, ensuite énoncer les manipulations expérimentales utilisées afin de trancher entre les différentes alternatives théoriques, enfin exposer notre troisième article.

3.1. Les objectifs

Tout d'abord, pour pouvoir tester notre hypothèse de transfert de code de taille sur des mots, il est primordial d'utiliser des stimuli linguistiques avec lesquels aucun effet de potentialisation n'a été signalé. Cela est nécessaire, pour que l'effet de potentialisation obtenu ne puisse pas être attribué par exemple à une simulation motrice. De ce fait, nous avons utilisé les mêmes noms d'objets utilisés dans notre précédente étude (Harrak et al., 2022, expérience 3), avec laquelle aucun effet de potentialisation n'a été signalé. Par ailleurs, nous avons utilisé des stimuli qui pourraient éventuellement transférer des codes de taille. Ainsi, nous avons choisi des adjectifs et des nombres qui peuvent suggérer une taille conceptuelle. Pour les adjectifs nous avons choisi l'adjectif "grand" et "petit". Alors que pour les nombres, nous avons choisi "1000" et "1" pour avoir une plus grande distinction de la taille conceptuelle, ce qui pourrait possiblement nous permettre d'obtenir un effet plus prononcé. Nous avons également utilisé le même protocole que celui de notre précédente étude (Harrak et al., 2022, expérience 3) qui consistait à ce que le participant réponde à la variation de couleur (i.e., orange vs. bleu) du nom de l'objet en effectuant une saisie puissante ou une saisie fine. Le seul changement, dans ce protocole, est l'ajout d'un stimulus (i.e., adjectif ou nombre) juste avant l'affichage d'un deuxième stimulus (nom d'objet). De cette façon, nous avons basculé d'un paradigme stimulus-réponse à un autre qui est de type stimulus-stimulus-réponse. Comme nous l'avons précédemment évoqué, si aucun effet de potentialisation n'est observé avec ce protocole, cela sera en faveur d'une approche par codage de taille, car la taille visuelle n'est pas disponible ce qui pourrait expliquer l'absence de l'effet de potentialisation. Cependant, si on obtient un effet de potentialisation, il sera plus en faveur de l'approche par codage de polarité, même si cela reste cohérent avec une approche par codage de taille, car une explication basée sur la taille conceptuelle avec cette approche peut être avancée même si la théorie par codage de taille initiale (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015) ne l'a pas prédit.

3.2. Article 3

Motor potentiation effect: The Transfer of Size Code

Mohamed Halim Harrak (corresponding author)

Loïc P. Heurley

Vincent Dru

Laboratory of Interactions between Action, Cognition and Emotion (LICAE) – Université Paris Nanterre, 200 avenue de La République, 92001 Nanterre Cedex, France.

Abstract

In one of our previous studies (Harrak et al., 2022, experiment 3) the presentation of words that represent graspable objects was not sufficient to generate a motor potentiation effect (i.e., motor facilitation effect). Thus, in the context of this article we used the same stimuli (objects names) as our previous study with which we did not obtain a motor potentiation effect in stimulus-response paradigm. Our objective was to test whether adjectives (i.e., Large vs. Small) and numbers (i.e., 1000 vs. 1) can induce a potentiation effect on words with transfer process of size code in stimulus-stimulus-response paradigm. The main idea is the presentation of a first stimulus (i.e., adjectives or numbers) that suggests a conceptual size (i.e., Large conceptual size vs. Small conceptual size), then the presentation of a second stimulus (i.e., object name) on which a color discrimination response was made. Our results indicate a potentiation effect under some conditions. Our results leave open the possibility that a transfer process of size code may be established inducing potentiation effect.

Keywords: Motor potentiation effect; The transfer of size code; linguistic stimuli; Numbers

The potentiation effect is the facilitation of motor responses in a compatible situation relative to an incompatible situation. In the literature examined, the potentiation effect can be explained by a simulationist account (i.e., Barsalou, 2008) which suggests that following the perception of an object there is a motor simulation that allows memory retrieval of the specific grasp of the object. Then, if the person makes the same grasp that is initiated in the brain, a potentiation effect occurs (i.e., motor facilitation effect). However, this effect of potentiation of grasping behaviors can be explained by an alternative hypothesis suggesting that this response stimulus compatibility effect may be due to a size coding process. Based on size coding assumption, the potentiation effect of grasping behaviors could be rather due to a low-level visual feature of the presented objects rather than to the usual action associated. Indeed, in the original study of Ellis and Tucker (2000), as well as in the multiple replications of this effect (e.g., Makris et al., 2011; Taylor & Zwan 2010; Tucker & Ellis 2001, 2004; Grèzes et al., 2003), objects differed according to their visual size. More specifically, objects associated to a power-grip (e.g., apple) were presented in a larger visual size than objects associated to a precision-grip (e.g., cherry). Usually, the visual size is close to the actual size of objects in everyday life. Thus, it could be argued that object associated to a power-grip could be coded as "large" and objects associated to a precision-grip as "small". The same reasoning could be applied to both responses. Because power-grip were performed on a larger switch than precision-grip, both responses could be coded as "large" and "small", respectively. Accordingly, the potentiation effect could be due to the compatibility/non-compatibility between size codes associated to stimuli and responses rather than to the simulation of a motor trace. This size-coding hypothesis was first advocated by Miles and Proctor (2014) and Masson (2015) and have recently gained empirical support.

For instance, Heurley et al. (2020) conducted an experiment in favor of the size coding process in which they used pictures of fruits and vegetables. Some stimuli used in their experience (i.e., fruits or vegetables) are generally grasped by humans with a precision-grip (e.g., cherry; strawberry) while others are generally grasped with a power-grip (e.g., apple; pear). At the start of each try a fixing cross appeared in the middle of the screen. Immediately after, a picture of a fruit or vegetable appeared in grayscale for 200,400 or 800 ms. Then, the fruit/vegetable turned orange or blue. The task was to categorize, as soon as possible, the colors of the pictures. Participants were instructed to press the large-switch with the palm of their hand while pressing the small switch with their index-digit. The device was fixed to a board that was, attached to the table right in front of the participant. In line with the size coding account, responses on the small switch were faster when small objects usually associated with a

precision-grip (e.g., a cherry) were presented compared to the condition in which larger objects usually associated with a power-grip (e.g., an apple) were presented. A reverse pattern was obtained for responses on the larger switch. This data supports the possibility that the potentiation effect could be merely due to a compatibility/incompatibility between size codes rather than to a simulation of the usual action associated with the presented objects (for converging evidence, see Pecher et al., 2019). Nevertheless, a second coding perspective could also explain the potentiation effect. This is the polarity coding account (i.e., Proctor et Cho, 2006). Overall, this second account can predict everything predicted by the size coding account. The main difference between these two theories lies in the fact that the polarity coding account defends the idea that there could be effects compatibility between polarity code associated to the stimuli and responses that are not coded according to the same dimensions (e.g., perceptual dimension and conceptual dimension).

Garofalo et al. (2021) reported that adjectives can possibly modulate the sensorimotor activation elicited by the names of graspable objects. In their first experiment, the participants had to simply decide whether each name referred to a natural or artificial object using either a precision or power-grip response. Thus, the response could be compatible or incompatible with the grip associated to the denoted objects. The results indicated a potentiation effect for the words used. In their second experiment, they combined the names of objects with adjectives depicting a non-grasping action (e.g., pointed) or information about the color of the object (e.g., reddish). When the adjective denoted an action differing from grasping, the potentiation effect disappeared (compared to the condition in which adjectives denoted a color). Their hypothesis is that whether the adjective is not a part of the object concept, it could disrupt to the simulation underlying the potentiation effect. In their third experiment, the objects names were combined with adjectives expressing either tactile (e.g., smooth) or shape properties of the objects (e.g., long). They found a potentiation effect in both cases.

A link between numbers and space was reported (i.e., SNARC effect). For example, it is well established in the literature that people respond faster to large numbers if the response is performed on the right while they respond more quickly to small numbers if the response is performed on the left (Dehaene et al., 1993). Furthermore, Walsh (2003) suggested that representations of non-symbolic magnitude located in the parietal cortex, which plays an important role in mediating the interaction between numerical symbols and actions. According to this perspective, the representation of numerical magnitude could emerge naturally through the action system that transforms visual information of the physical magnitudes of objects into

a correspondence of motor response. In this way, since these magnitudes are related to visuo-motor transformations that are carried out at the level of the dorsal visual pathway, the representation of numbers and actions should converge in a common neural circuit at the level of the parietal cortex.

Moretto and Pellegrino (2008) performed two experiments that revealed an influence of numerical magnitude on grasping gestures. In their first experiment, the participants made either a power-grip or a precision-grip depending on the parity (i.e., even or odd) of Arabic numerals ranging from 1 to 9 apart from 5. Participants answers were made at the using the same device as Ellis and Tucker (2000). The results indicated that a small numerical value (i.e., 1, 2, 3 and 4) facilitates precision-grip while a large numerical value (i.e., 6, 7, 8 or 9) facilitates power-grip. Moreover, the reaction time decreases as the numerical magnitudes increase. This indicates that this effect follows the same linear trend as the SNARC effect (Dehaene et al., 1993). Then, in a second experiment, the authors carry out almost the same procedure as in their first experiment with the exception to the fact that the task was no longer a judgment parity of numbers but rather a task of chromatic discrimination which consisted in indicating whether the digit presented on the screen was "Blue" or "Red". Unlike the parity judgment task, which requires the participant to access the semantic information of numbers, the chromatic discrimination task does not require the participant to carry out extensive numerical processing, so it uses automatic processes. The results obtained in their second experiment are similar to those obtained in their first experiment. This suggests that even if the task does not require processing the numerical quantity in an explicit way, or accessing a semantic representation of the numbers, the simple presentation of symbolic numerical stimuli can automatically activate the motor representations. This motor representations, interact with the selection of specific grasping movements in the same way as the perception of graspable objects (e.g., apple).

However, the results of Moretto and Pellegrino (2008) can be interpreted from a coding perspective even if, to our knowledge, no study in the literature has yet revealed such a possibility. Indeed, according to a polarity coding account, it is conceivable to envisage a coding of numbers if these stimuli differ with respect to the conceptual dimension. Thus, a positive polarity code "+" could be assigned to large numbers (i.e., 6,7,8 or 9) while a negative polarity code "-" could be assigned to small numbers (e.g., 1 ,2,3 or 4) because these numbers differ with respect to the conceptual dimension. On the other hand, since the responses differ with respect to the perceptual dimension, because the power-grip response is visually larger than the precision-grip response, a positive polarity code "+" could be assigned to the power-

grip response while a negative polarity code "-" could be assigned to the precision-grip response. Thus, a potentiation effect could be produced with numbers if there is a polarity match (i.e., ++ or --) between the polarity code assigned to the number through the coding of the conceptual dimension and the polarity code assigned to the response thanks to the coding of the perceptual dimension. Furthermore, the use of numbers can be very judicious within the framework of a possible distinction between a size coding account and that of polarity, because the size coding account does not predict the possibility that the stimuli and the responses are coded according to different dimensions, unlike polarity coding account. Size coding considers visual size only and as such predicts coding only with respect to the perceptual dimension. Nevertheless, even if the size coding account does not predict this possibility, a size coding based on the conceptual size remains possible with this account even if as far as we know no proof in the literature evokes this possibility.

One of our recent works (Harrak et al., 2022) in the context of the potentiation effect of grasping behavior, reported an effect that can be called the "transfer of size code" occurring between pictures and linguistic stimuli (i.e., names). In our first experiment, we intermixed pictures and words representing fruits and vegetables in the same bloc. Objects depicted could be associated with a precision grip or a power grip (e.g., a cherry vs. an apple). In each trial, a fixation cross first appeared, immediately followed by the picture or the name of a fruit/vegetable respectively in grayscale and in black. Then, the picture or the word turned blue or orange and the participants, according to the color, have either to perform a power or precision-grip responses on a device similar to the one of Ellis and Tucker (2000). We found a motor potentiation effect for pictures and words. Interestingly, in a second experiment, we used the exact same protocol set aside that large and small objects, respectively associated to a power grip and a precision grip were, no longer presented in a visual size matching the actual size of the object in everyday life. More precisely, while in the first experiment, the picture of an apple was presented larger than the picture of a cherry, for instance, in our second experiment, both were of the same visual size. In this case, we did not find a potentiation effects both for pictures and words. This last result supports that the effect of word obtained in our first experiment could be due to a transfer of size code for objects pictures on words that represent the same objects. Thus, it is possible to envisage that if linguistic stimuli can receive size codes, some linguistic stimuli can transfer size codes. Furthermore, it is also conceivable that size codes can be transferred to the linguistic stimuli by other types of stimuli such as numbers.

Our current study

In this study, our main goal is to test whether adjectives and numbers can induce a potentiation effect on words thanks to a transfer of size codes. This is possible because in our study by Harrak et al. (2022), a potentiation effect was found on words that could be explained by a transfer of size code that was operated from pictures representing graspable objects to object names (words). It is thus conceivable that given words can receive size codes, other types of linguistic stimuli could transfer size codes to words (e.g., names of objects), such as specific adjectives (e.g., Large vs. Small) thanks to the availability of their conceptual sizes. In the same vein, it is possible to envisage that numerical stimuli (e.g., Large number vs. Small number) could transfer size codes to words thanks to their conceptual sizes. Moreover, to be able to test this possibility of transfer it is necessary to use words (e.g., objects names) with which no potentiation effect has been reported with their presentation in an isolated way (e.g., Harrak et al. 2022, experiment 3), to ensure that if an effect is obtained, it is really due to a transfer of size code and not for example a motor simulation or a possible transfer of picture size code to them. Thus, we used the same object names from one of our previous studies (Harrak et al. 2022, experiment 3) with which no potentiation effect was reported.

Accordingly, we used two adjectives (i.e., Large vs. Small) and two numbers (i.e., 1000 vs. 1) that we presented just before the presentation of large and small objects names (e.g., apple, cherry). In all trials, the adjective "LARGE" as well as the number "1000" were always presented before the name of large objects (e.g., APPLE) while the adjective "SMALL" and the number "1" were only presented before small objects (e.g., CHERRY). Consequently, we conducted four experiments using a similar procedure. In each trial, first, a fixation cross appeared followed by either an adjective (i.e., Large vs. Small) or a number (i.e., 1000 vs. 1) presented shortly. Immediately after that, the name of a fruit or of a vegetable was presented. Then, after various delays, this name was colored in orange or blue and participant were instructed to perform a precision or a power-grip according to the color of the stimulus.

The size coding account and the polarity coding account make different predictions. First, from a polarity coding account, we can predict a potentiation effect when adjectives and numbers precede words. Indeed, adjectives as well as numbers could be coded according to their conceptual dimension, then it could allow a transfer of size code to object names. However, the size coding account does not predict any potentiation effect when adjectives or numbers precede objects names because this approach is constrained to the perceptual dimension, and more precisely to the visual size. In this way, if no effect is obtained on object

names with the use of adjectives and numbers will favor the size coding account. Nevertheless, it remains conceivable that adjectives and numbers are coded according to the conceptual dimension with a size coding account. Thus, if an effect is obtained with the use of adjectives and numbers on objects names it will be in favor of the polarity coding account even if it will remain consistent with the size coding account.

EXPERIMENT 1

Method

Participants. The sample of our first experiment was composed of 28 participants. They were all students at the University Paris-Nanterre. Our sample included 11 females and 28 right-handed. The average age was 20 years (s_{age} = 3.56). They all reported to have normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind). French is the mother tongue of all participants. All participants were naïve to the goal of the experiment. They all reported correctly perceiving the names and pictures of objects presented during the experiment. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2017).

Materials and apparatus. First, we used twelve words denoting objects belonging to the category of fruits and vegetables. Six names denoted large fruits or vegetables usually grasped with a power grip (i.e., apple, avocado, banana, eggplant, lemon, and pear), and six names denoted small fruits or vegetables usually grasped with a precision grip (i.e., cherry, grape, hazelnut, peanut, radish, and strawberry). Eight names were used during the test phase while the four remaining names were used during familiarization trials (see Appendix A). Since our task was to discriminate the color of these names, we carried out three versions of each name: a black, a blue, and an orange version. They were all written on a white background, and they all appeared in a visual size of 72 font. We had already used this set of names in our previous work (Harrak et al., 2022) in which we had already checked that the number of letters did not differ between names denoting large and small objects. Our goal was to ensure that there was no visual size difference due to the word length. We also controlled other psycholinguistic variables (e.g., frequency; see Harrak et al., 2022). All of the data was reported in Appendix A.

We also used two adjectives. The first one is "GRAND" in French (LARGE in English). The second one is "PETIT" in French (SMALL in English). We chose these adjectives because they

denoted a peculiar size in addition to the fact that they were composed by the exact same number of words, a matter that allowed to properly control their visual size.

The device used was similar to the one we have already used in our previous work (Harrak et al., 2022). It is composed of two components that could be taken in one hand at the same time. The first was a small cube ($1cm^3$) held with a precision grip between the thumb and index digit. The cube contained a very small switch that required simultaneous pressure of the two digits to be activated. The second component was a larger PVC cylinder (10 cm tall and 3 cm in diameter) that was held with a power grip. A switch was placed on the free side of the cylinder that was activated when participants squeezed the cylinder with their middle, ring, and little digits simultaneously. Both responses were recorded using E-prime v2.0 software on an HP ProBook 650 G1. I3-4000M, 2.4 GHz computer.

Procedure. The experiment was run in a quiet room, and each participant was seated facing the monitor (23”; refresh rate: 60Hz), positioned approximately 60 cm from the participant. There are two critical phases, a familiarization phase, and a test phase, both using a similar procedure. In all trials, the adjective "LARGE" was presented only with names of large fruits or vegetables (e.g., APPLE), while the adjective "SMALL" was only presented with names of small fruits or vegetable (e.g., CHERRY). During each trial, participants first saw a fixation cross presented in the center of the screen for 500 ms. Then, an adjective was presented. It was either "GRAND" (i.e., large), or "PETIT" (i.e., small) during 400 ms. The adjective was presented in the center of the screen written in black on a white background. Right after, the name of a fruit or of a vegetable was presented in the center of the screen, also written in black on a white background, during 200, 400, or 800 ms (in order to prevent responses anticipation, see Heurley et al., 2020; Guerineau et al., 2021; Harrak et al., 2022 for a similar method). Finally, this name turned orange or blue and it remained on the screen until the participant responded. Following the response, a blank screen appeared for 1500 ms before the next trial commenced. Participants were instructed to categorize, as soon as possible, the colors of the words. An explanation was provided about the mapping between each switch response and each color (i.e., power grip for blue vs. precision grip for orange; counterbalanced between participants). It is noteworthy that to prevent habituation to items, the fruit/vegetable used in familiarization trials (i.e., peanut, radish, banana, and lemon) were different from the ones used in test trials (i.e., cherry, grape, hazelnut, strawberry, apple, avocado eggplant, and pear). The test phase was composed of 4 blocks of 48 trials (192 trials). The familiarization phase was composed of 16 trials. In the final

phase of the experiment, participants completed a short questionnaire and the Edinburgh Handedness Inventory (Veale, 2014).

Results

We used a repeated measure ANOVA with the participants as a random factor, the SOA (200, 400, 800), the adjectives (large vs. small), and the responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, incorrect test trials, and below 200 ms or above 1200 ms as in Harrak et al. (2022).

First, the ANOVA did not reveal neither a main effect of the adjectives, $F(1, 27) = 0.14$, $p = 0.71$, $\eta_p^2 = 0.00$ ($m_{adjective\ Large} = 470$ ms, $s_{adjective\ Large} = 66$ vs. $m_{adjective\ Small} = 469$ ms, $s_{adjective\ Small} = 69$), nor a main effect of the responses, $F(1, 27) = 2.29$, $p = 0.14$, $\eta_p^2 = 0.07$ ($m_{precision\text{-}grip\ response} = 473$ ms, $s_{precision\text{-}grip\ response} = 69$ vs. $m_{power\text{-}grip\ response} = 465$ ms, $s_{power\text{-}grip\ response} = 65$). Second, the ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 27) = 41.79$, $p < 0.0001$, $\eta_p^2 = 0.60$. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.016$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), comparisons showed that RTs were significantly longer in the 200 ms (m = 490 ms, s = 68) than in the 400 ms-SOA condition (m = 465 ms, s = 63), $F(1, 27) = 42.21$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.61$, and significantly longer in the 200 ms than in the 800 ms-SOA condition (m = 453ms, s = 65), $F(1, 27) = 63.16$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.7$. In addition, RTs were longer in the 400ms than in the 800 ms-SOA condition, $F(1, 27) = 8.76$, $p = 0.006$, $\eta_p^2 = 0.24$.

Furthermore, the ANOVA did not reveal a statistically significant adjectives x SOA interaction, $F(1, 27) = 0.63$, $p = 0.53$, $\eta_p^2 = 0.02$, nor a statistically significant SOA x Responses interaction, $F(1, 27) = 0.51$, $p = 0.60$, $\eta_p^2 = 0.01$. More importantly, the ANOVA reveal a statistically significant Adjectives x Responses interaction, $F(1, 27) = 5.05$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.15$ (see Figure 1). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), the planned comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for the adjective LARGE ($m = 462$ ms, $s = 61$) and the adjective SMALL ($m = 468$ ms, $s = 69$), $F(1, 27) = 3.59$, $p = 0.06$, $\eta_p^2 = 0.11$, alike between precision-grip RTs for the adjective SMALL (m = 469 ms, s = 68) and for the adjective LARGE ($m = 477$ ms, $s = 70$), $F(1, 27) = 2.52$, $p = 0.12$, $\eta_p^2 = 0.08$. Interestingly, the ANOVA did not reveal a statistically significant SOA x Adjectives x Responses interaction, $F(1, 27) = 2.48$, $p = 0.09$, $\eta_p^2 = 0.08$.

Nevertheless, if we closely look at Figure 2, we can see a different pattern for the adjectives x Responses interaction depending on the SOA. Thus, to go further, we achieved additional comparisons. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.008$ after a Bonferroni correction considering a family of six comparisons). First, for the 200 ms-SOA, the comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for the adjective LARGE (m = 479 ms, s = 59) and the adjective SMALL (m = 499 ms, s = 71), $F(1, 27) = 6.04$, $p = 0.02$, $\eta_p^2 = 0.18$, alike between precision-grip RTs for the adjective SMALL (m = 484 ms, s = 67) and the adjective LARGE (m = 500 ms, s = 71), $F(1, 27) = 4.79$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.15$. Second, for the 400 ms-SOA, the planned comparisons neither revealed a statistical difference between power-grip RTs for the adjective LARGE (m = 461 ms, s = 59) and the adjective SMALL (m = 457 ms, s =63), $F(1, 27) = 0.24$, $p = 0.62$, $\eta_p^2 = 0.00$, nor between precision-grip RTs for the adjective SMALL (m = 464 ms, s = 67) and the adjective LARGE (m = 473 ms, s = 62), $F(1, 27) = 1.09$, $p = 0.30$, $\eta_p^2 = 0.03$. Third, for the 800 ms-SOA, the planned comparisons neither revealed a statistical difference between power-grip RTs for the adjective LARGE (m = 447 ms, s = 59) and the adjective SMALL (m = 449 ms, s = 62), $F(1, 27) = 0.27$, $p = 0.60$, $\eta_p^2 = 0.00$, nor between precision-grip RTs for the adjective SMALL (m = 457 ms, s = 69) and the adjective LARGE (m = 457 ms, s = 70), $F(1, 27) = 0.00$, $p = 0.99$, $\eta_p^2 = 0.00$.

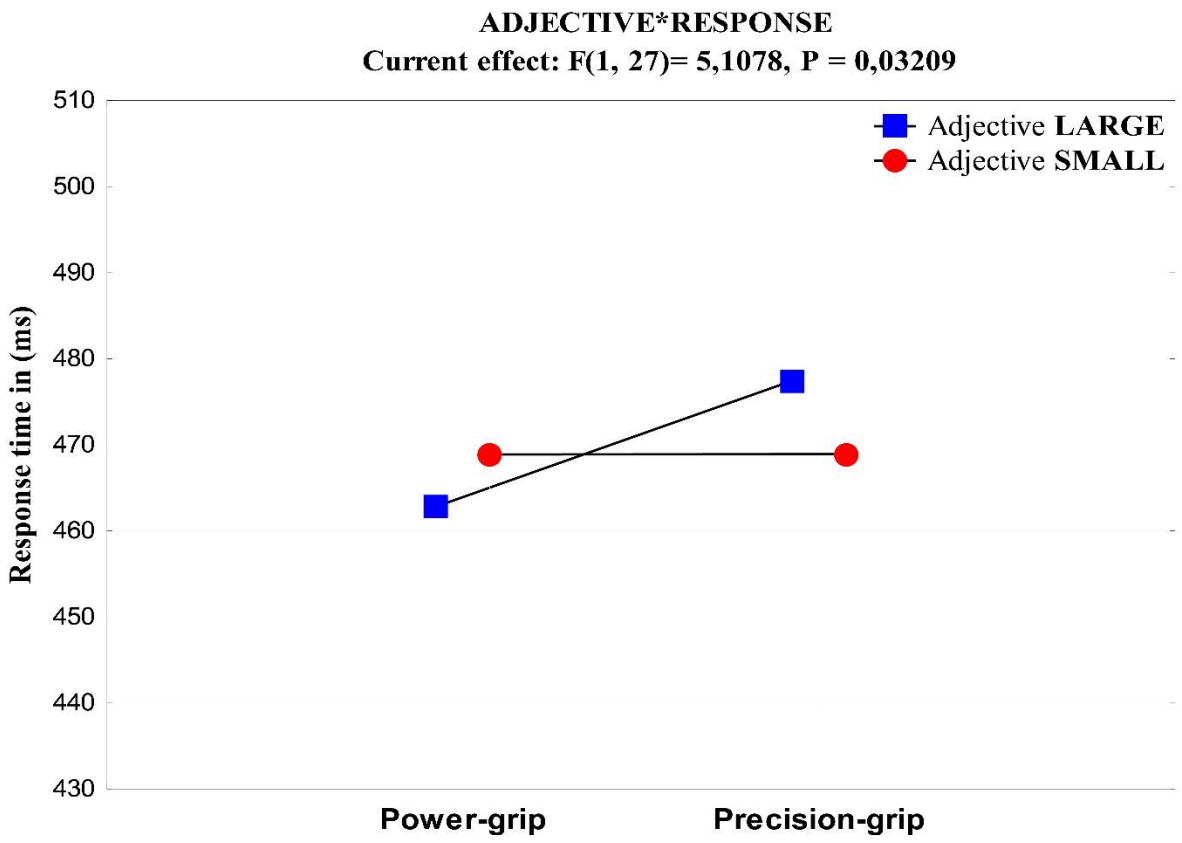


Figure 1. Mean RTs (in ms) of Experiment 1 according, the adjectives (large *vs*. small), and the type of responses (power-grip vs. precision-grip).

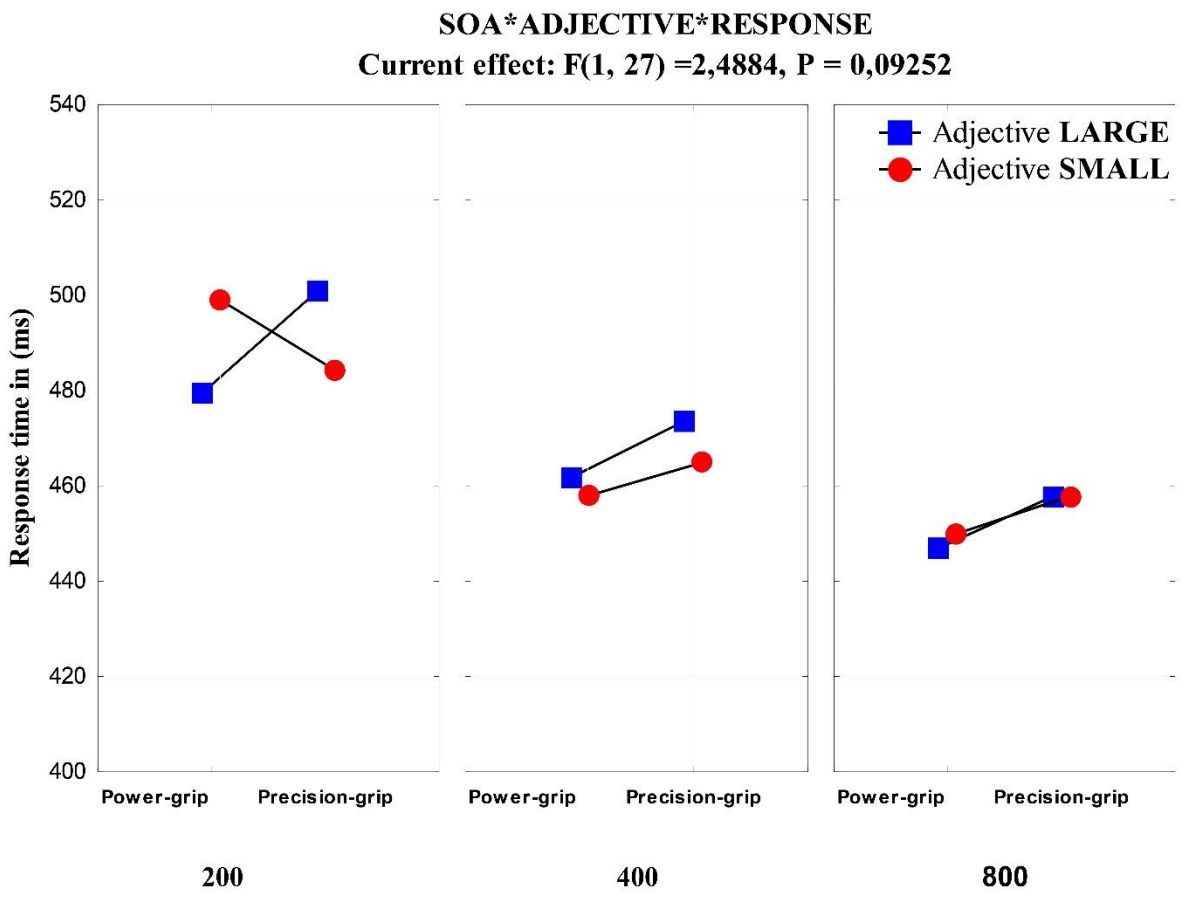


Figure 2. Mean RTs (in ms) of Experiment 1 according to the SOA (200 vs 400 vs 800), the adjective (large *vs*. small), and the type of responses (power- vs. precision-grip).

Discussion

Our main objective in this first experiment was to test whether adjectives can induce a potentiation effect on words through a transfer process of size code. This is possible because some adjectives (e.g., Large vs. Small) allow access to the conceptual size that could be coded. To achieve this goal, we used the same object names used in one of our previous study (i.e., Harrak et al. 2022, experiment 3) where no potentiation effect was reported. Our results indicated the production of a potentiation effect with words. Indeed, response times were faster when participants perceived the adjective "Large" and had to respond with a power-grip while their response times were slower when they perceived the adjective "Large" and had to respond with a precision-grip. Respectively, response times were faster when participants perceived the adjective "Small" and had to respond with precision-grip, while their response times were slower when they perceived the adjective "Small" and had to respond with a power-grip (See Figure 1). Furthermore, it is important to note that the chromatic categorization response a was

carried out on the object name and not on the adjective, which makes it possible to leave open the possibility that a transfer of size code was transferred from the adjectives to object names. This is possible because the presentation of these same object names in isolation in one of our previous studies (Harrak et al. 2022, experiment 3) was not sufficient to induce a potentiation effect. These preliminary results are more in favor of the polarity coding account rather than a size coding approach which does not normally predict a coding according to the conceptual dimension even if it remains possible.

Concretely, our transfer of size code hypothesis can be explained as follows: First, in accordance with the polarity coding account, the adjectives "Large" and "Small" could be coded by polarity codes as they differ with respect to the conceptual dimension, so a positive polarity code "+" could be assigned to the adjective "Large" and a negative polarity code "-" could be assigned to the adjective "Small". Then, these polarity codes could be transferred from the first stimulus (i.e., adjective) to the second stimulus (object name). Furthermore, since the responses differ with respect to the perceptual dimension because the power-grip response is visually larger than precision-grip response a positive polarity code "+" could be assigned to the power-grip response while a negative polarity code "-" could be assigned to the precision-grip response. Finally, a motor potentiation effect could occur in the case of a polarity match (i.e., ++ or --) between the polarity code transferred to the second stimulus (object name) and the polarity code assigned to the response.

Now we are going to explain the reason for choosing the name "transfer of size code", as we explain the transfer process with polarity codes. We chose this name for two main reasons. First, the adjective "Large" was presented only before a word (object name) which represents a large object and the adjective "Small" was presented only before a word which represents a small object. Therefore, it is conceivable that the code transfer was possible thanks to this specific methodology which consists in presenting an adjective which shares the same conceptual size as the object represented by its name. In other words, it may be that the transfer between adjectives and words was established thanks to the concordance of their conceptual size. As a result, it is likely, for example, that in the case where the adjective large is presented just before the display of a word that suggests a small conceptual size (e.g., strawberry) the transfer does not work. Thus, we cannot for the moment call this process a polarity code transfer. It will be possible if for example a first stimulus which suggests a large conceptual size (e.g., adjective) transfer a polarity code to a second stimulus which suggests a small conceptual size (e.g., cherry). Second, since an explanation of transfer could be advanced with

the size coding account (e.g., large code vs. small code) even though the initial theory does not suggest it, reinforces our choice to use a specific naming based on size (i.e., transfer of size code).

Furthermore, our results indicated that SOA did not modulate the potentiation effect. Nevertheless, the post-hoc comparison suggests that the strongest potentiation effect occurred for the 200 ms SOA. However, even for this SOA of 200 ms the effect is significant but remains low. Thus, it was likely that the potentiation effect is subtle with this protocol and was masked because there were not enough trials for this 200 ms prime time. In this way we conducted a second experiment in which we displayed the names of objects only for 200 ms. We also reduced the display time of the adjective which was from 400 ms to 300 ms. This modification was established to test whether modifying the display time of the adjective does not have an impact on the potentiation effect. On the other hand, we wanted to test whether it was possible to observe the effect even by decreasing the display time of the stimulus which is supposed to transfer the size code.

EXPERIMENT 2

Method

Participants. The sample of our second experiment was composed of 31 participants including 8 females and 28 right-handed. The average age was 19.8 years (s_{age} = 1.55). They were all students at the University Paris-Nanterre. They all reported to have normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind). French is the mother tongue of all participants. All participants were naïve to the goal of the experiment. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Material and apparatus and procedure. We used the same materials, apparatus and procedure as in our first experiment. We only made two slight modifications. First, we reduced the presentation time from 400 ms to 300 ms. Secondly, we used only one SOA out of the three that were used in the first experiment. Accordingly, the name of the fruit or vegetable first appeared in black only during 200 ms.

Results

We used a repeated measure ANOVA with the participants as a random factor, the adjectives (large vs. small) and the responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, incorrect test trials, and below 200 ms or above 1200 ms.

First, the ANOVA did not reveal neither a main effect of the adjectives, $F(1, 30) = 0.83$, $p = 0.36$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{adjective\ Large} = 481$ ms, $s_{adjective\ Large} = 82$ vs. $m_{adjective\ Small} = 478$ ms, $s_{adjective\ Small} = 76$), nor a main effect of the responses, $F(1, 30) = 0.88$, $p = 0.35$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{precision\text{-}grip\ response} = 482$ ms, $s_{precision\text{-}grip\ response} = 83$ vs. $m_{power\text{-}grip\ response} = 476$ ms, $s_{power\text{-}grip\ response} = 75$). More importantly, the ANOVA did not reveal a statistically significant Adjectives x Responses interaction, $F(1, 30) = 0.04$, $p = 0.83$, $\eta_p^2 = 0.00$ (see Figure 3). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), the planned comparisons did not reveal a statistical difference either between power-grip RTs for adjective large ($m = 477$ ms, $s = 74$) and adjective small ($m = 475$ ms, $s = 77$), $F(1, 30) = 0.28$, $p = 0.59$, $\eta_p^2 = 0.00$, nor between precision-grip RTs for adjective small (m = 481 ms, s = 76) and adjective large ($m = 484$ ms, $s = 90$), $F(1, 30) = 0.42$, $p = 0.52$, $\eta_p^2 = 0.01$.

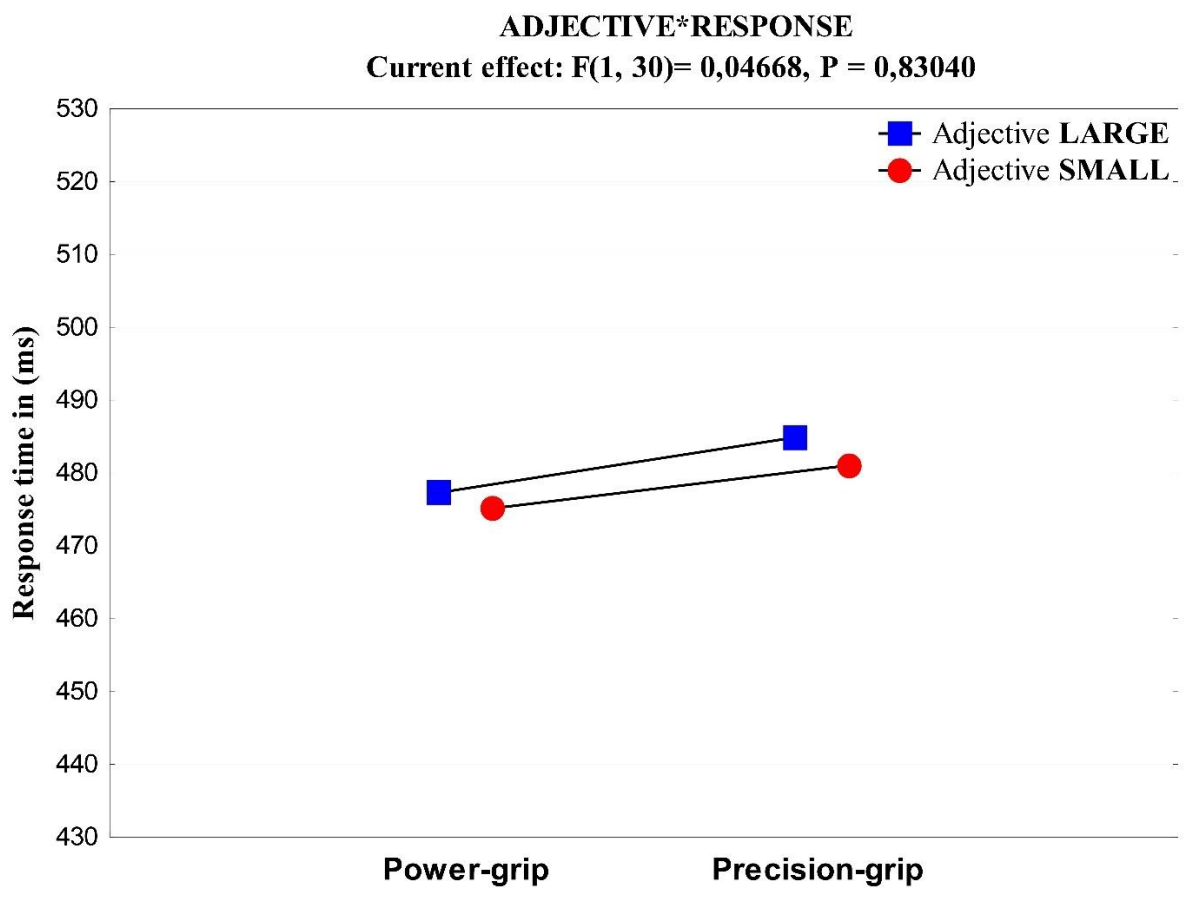


Figure 3. Mean RTs (in ms) of Experiment 2 according to the adjectives (large vs. small), and the type of responses (power grip- vs. precision grip).

Discussion

Our objective was twofold for this second experiment. First, we increased the number of trials for SOA by 200 ms (object name display time) to possibly increase the potentiation effect obtained in our first experiment. Our second objective was to test if the display time of the first stimulus (adjective), which is supposed to transfer size codes must be displayed in a well determined time or if this modification will have no impact on the potentiation effect. Our results indicated an absence of potentiation effect (see figure 3) contrary to our first experiment. First, the use of a single SOA (i.e., 200 ms) instead of three different SOAs (i.e., 200, 400 and 800 ms) could increase the anticipation of participants responses. It is likely that the reduction in the display time of the adjectives as well as the use of the shortest object name prime time are the cause of the disappearance of the potentiation effect. More precisely, when we tested this protocol before experimenting it on participants, we realized that the trials followed one another very quickly, which could have disrupted the transfer process of size code. Therefore,

we carried out a third experiment to test whether the disappearance of the potentiation effect is due to the time established between the trials. Thus, we increased the interval between trials which was initially 1500 ms to 2500 ms.

EXPERIMENT 3

Method

Participants. The sample of Experiment 3 was composed of 28 participants. They were all students at the University Paris-Nanterre and the sample included 12 females and 27 right-handed. The average age was 19.9 years (s_{age} = 1.9). They were all reported to have normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind) and they were all naïve to the goal of the experiment. They all reported that French was their mother tongue. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Material and apparatus and procedure. We reused the exact same procedure with the exception to the fact that the intertrial interval was extended from 1500 ms to 2500 ms.

Results

We used a repeated measure ANOVA with the participants as a random factor, the adjectives (large vs. small), and the responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, incorrect test trials, and below 200 ms or above 1200 ms.

First, the ANOVA did not reveal neither a main effect of the adjectives, $F(1, 27) = 1.13$, $p = 0.29$, $\eta_p^2 = 0.04$ ($m_{adjective\ Large}$= 500 ms, $s_{adjective\ Large}$= 74 vs. $m_{adjective\ Small}$ = 503 ms, $s_{adjective\ Small}$ = 70), nor a main effect of the responses, $F(1, 27) = 0.84$, $p = 0.36$, $\eta_p^2 = 0.03$ ($m_{precision\text{-}grip\ response}$= 504 ms, $s_{precision\text{-}grip\ response}$= 75 vs. $m_{power\text{-}grip\ response}$= 499 ms, $s_{power\text{-}grip\ response}$= 69). More importantly, the ANOVA did not reveal a statistically significant Adjectives x Responses Type interaction but, unlike Experiment 2, this interaction was close to the significance threshold, $F(1, 27) = 3.65$, $p = 0.06$, η_p^2= 0.11 (see Figure 4). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = .025$ after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), the planned comparisons did not reveal a statistical difference either between power-grip RTs for adjective large (m = 491 ms, s = 67) and adjective small (m

= 506 ms, *s* = 71), *F*(1, 27) = 4.35, *p* = 0.04, η_p^2= 0.13, nor between precision-grip RTs for adjective small (*m* = 501 ms, *s* = 69) and adjective large (*m* = 508 ms, *s* = 79), *F*(1, 27) =1.12, *p* = 0.29, η_p^2=0.03.

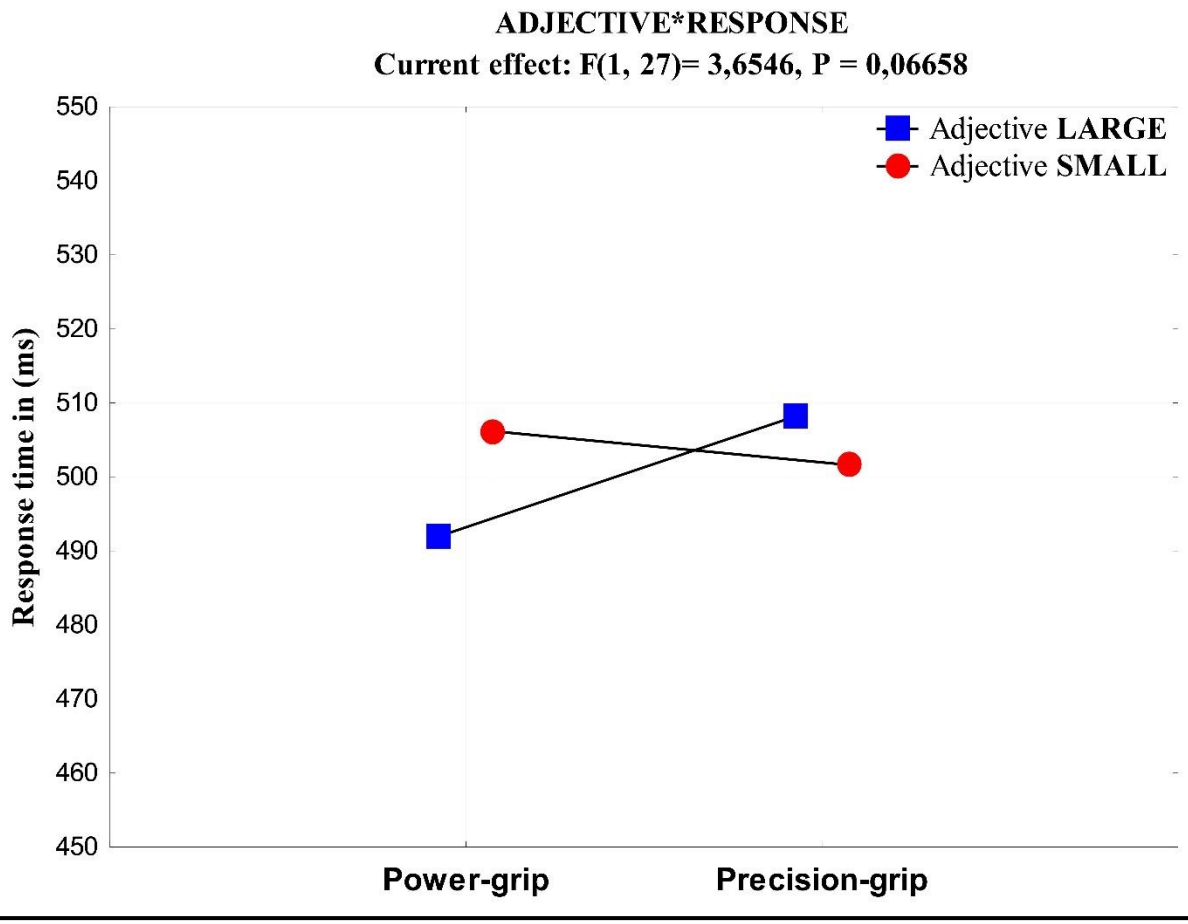


Figure 4. Mean RTs (in ms) of Experiment 3 according to the adjectives (large *vs*. small), and the type of responses (power-grip vs. precision-grip).

Discussion

In this third experiment we increased the interval between the tests by using 2500 ms instead of 1500 ms to try to find the potentiation effect. This was established because we suspected that in our previous experiment the interval between trials was very short which negated the occurrence of the potentiation effect. Our results indicated an absence of potentiation effect even if the effect is close to the significance threshold (See figure 4). In other words, the use of a longer interval between trials is visibly more conducive to obtaining the potentiation effect, however it was not sufficient to obtain the expected effect (i.e., a significant effect). For the

moment, the protocol established during our first experiment seems to be the most suitable for obtaining a potentiation effect on words that could possibly be explained by a transfer process of size code with adjectives. Thus, we carried out a fourth experiment in which we used the same protocol established in our first experiment. In this experiment, numbers (i.e., 1000 vs. 1) were used instead of adjectives (i.e., Large vs. Small), stimuli that could allow transfer of size code based on the conceptual size of numbers. In addition, we have chosen two numbers that allow a more pronounced distinction between a large conceptual size (e.g., 1000) and a small conceptual size (e.g., 1).

EXPERIMENT 4

In our fourth experiment, we tested whether numbers are able to induce a word-based potentiation effect. Accordingly, we used a similar protocol except that adjectives were replaced by numbers (i.e., 1000 vs. 1).

Method

Participants. The sample of this last experiment was composed of 5 participants. They were again all students at the University Paris-Nanterre and our sample was composed of 2 females and 5 right-handed. The average age was 20.2 years (s_{age} = 1.09) and they were all reported to have normal or corrected-to-normal visual acuity and no color perception issues (e.g., color blind). French is the mother tongue of all participants. All participants were naïve to the goal of the experiment. This study was conducted in accordance with the ethical principles of the American Psychological Association (2016).

Material and apparatus and procedure. We used the exact same protocol as in our Experiment 1 except those adjectives (i.e., large vs small) have been replaced by numbers (i.e., 1000 vs 1).

Results

We used repeated measures ANOVA with the participants as a random factor, the numbers (1000 vs. 1), and the responses (power grip vs. precision grip) as within factors. We removed RTs from familiarization trials, from incorrect test trials, and below 200 ms or above 1200 ms.

First, the ANOVA did not reveal neither a main effect of the numbers, $F(1, 4) = 0.08$, $p = 0.79$, $\eta_p^2 = 0.02$ ($m_{Number1000}$ = 422 ms, $s_{Number1000}$ = 40 vs. $m_{Number\ 1}$ = 418 ms, $s_{Number\ 1}$ = 45),

nor a main effect of the responses, $F(1, 4) = 0.06$, $p = 0.81$, $\eta_p^2 = 0.01$ ($m_{precision\text{-}grip\ response}$= 417 ms, $s_{precision\text{-}grip\ response}$= 51 vs. $m_{power\text{-}grip\ response}$= 423 ms, $s_{power\text{-}grip\ response}$= 31). The ANOVA revealed a statistically significant main effect of SOA, $F(1, 4) = 4.6$, $p = 0.046$, η_p^2= 0.53. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.016$ after a Bonferroni correction considering a family of three comparisons), comparisons showed that RTs were significantly longer in the 200-ms SOA condition (m = 439 ms, s = 37) than in the 400-ms SOA condition (m = 411 ms, s = 41), $F(1, 4) = 19.66$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.83$, but not significantly longer in the 200-ms SOA than in the 800-ms SOA condition (m = 410 ms, s = 42), $F(1, 4) = 7.8$, $p = 0.049$, η_p^2= 0.66. In addition, RTs were longer in the 400-ms SOA condition than in the 800-ms SOA but this difference was not statistically significant, $F(1, 4) = 0.009$, $p = 0.92$, η_p^2= 0.002.

Furthermore, the ANOVA neither revealed a statistically significant Numbers x SOA interaction, $F(1, 4) = 0{,}28$, $p = 0.75$, η_p^2= 0.06, nor a statistically significant SOA x Response Type interaction, $F(1, 4) = 1.72$, $p = 0.23$, η_p^2= 0.30. More importantly, the ANOVA revealed a statistically significant effect of Numbers x Responses interaction, $F(1, 4) = 32$, $p = 0.004$, η_p^2= 0.89 (Figure 5). According to the corrected significance threshold (corrected test-wise α = .025 after a Bonferroni correction considering a family of two comparisons), planned comparisons revealed that the difference between power-grip RTs for number 1000 (m = 410 ms, s = 23) and number 1 (m = 435 ms, s = 34) was not statistically significant, $F(1, 4) = 2.48$, $p = 0.18$, η_p^2= 0.38, like the difference between precision-grip RTs for number 1 (m = 402 ms, s = 49) and number 1000 (m = 433 ms, s = 50), $F(1, 4) = 7.03$, $p = 0.056$, η_p^2= 0.63. Interestingly, the ANOVA did not reveal a statistically significant of the three-way SOA x Numbers x Responses interaction, $F(1, 4) = 0.07$, $p = 0.93$, η_p^2= 0.01.

Interestingly, the ANOVA did not reveal a statistically significant SOA x Adjectives x Responses interaction, $F(1, 4) = 0.07$, $p = 0.93$, η_p^2= 0.01. Thus, to go further, we achieved additional comparisons. According to the corrected significance threshold (corrected test-wise $\alpha = 0.008$ after a Bonferroni correction considering a family of six comparisons). First, for the 200 ms-SOA, the comparisons did not reveal a statistical difference between power-grip RTs for the number 1000 (m = 421 ms, s = 14) and the number 1 (m = 454 ms, s = 38), $F(1, 4) = 3.42$, $p = 0.13$, η_p^2= 0.46, alike between precision-grip RTs for the number 1000 (m = 454 ms, s = 37) and the number 1 (m = 426 ms, s = 50), $F(1, 4) = 2.2$, $p = 0.21$, η_p^2=0.35. Second, for the 400 ms-SOA, the planned comparisons neither revealed a statistical difference between

power-grip RTs for the number 1000 (*m* = 403 ms, s = 11) and the number 1 (*m* = 423 ms, *s* =37), *F*(1, 4) = 2.31, *p* = 0.20, η_p^2= 0.36, nor between precision-grip RTs for the number 1000 (*m* = 424 ms, *s* = 58) and the number 1 (*m* = 394 ms, *s* = 49), *F*(1, 4) = 4.37, *p* = 0.10, η_p^2= 0.52. Third, for the 800 ms-SOA, the planned comparisons neither revealed a statistical difference between power-grip RTs for the number 1000 (*m* = 407 ms, s = 36) and the number 1 (*m* = 427 ms, *s* = 22), *F*(1, 4) = 0.98, *p* = 0.37, η_p^2= 0.19, nor between precision-grip RTs for the number 1000 (*m* = 421 ms, *s* = 55) and the number 1 (*m* = 384 ms, *s* = 47), *F*(1, 4) = 2.57, *p* = 0.18, η_p^2= 0.39.

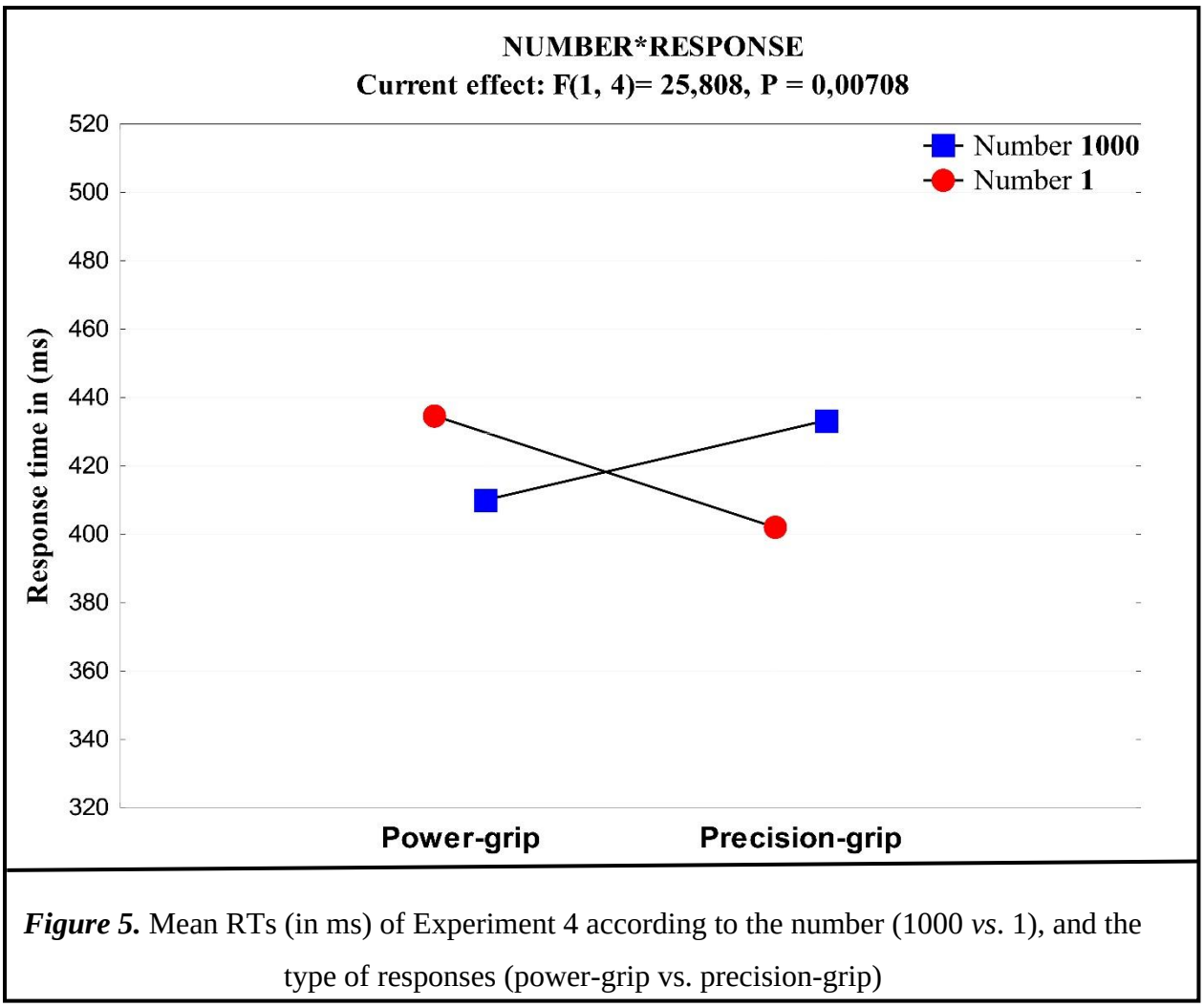


Figure 5. Mean RTs (in ms) of Experiment 4 according to the number (1000 *vs*. 1), and the type of responses (power-grip vs. precision-grip)

Discussion

Our main objective for this fourth experiment is to test whether numbers (i.e., 1000 vs. 1) could induce a potentiation effect on object names. This is conceivable because it is possible that numbers allow the transfer process of size code through the availability of their conceptual size. For this, we used the same protocol as that of our first experiment which allowed us to observe a potentiation effect apart from the fact that we replaced the adjectives with numbers. Our results indicated a potentiation effect. Indeed, response times were faster when participants perceived the number "1000" and had to respond with a power-grip, while their response times were slower when they perceived the number "1000" and had to respond with precision-grip. Respectively, response times were faster when participants perceived the number "1" and had to respond with precision-grip while their response times were slower when they perceived the number "1" and had to respond with a power-grip (See Figure 5). Furthermore, we would like to report that the potentiation effect that was observed for this experiment is greater than that which was observed in our first experiment. Moreover, the results indicated that SOA did not modulate the potentiation effect, suggesting that the effect is similar for all SOA (object name display times) used. Thus, these results leave open the possibility that numbers able to transfer size code to object names inducing a potentiation effect (see discussion of our first experiment for explanation process transfer of size code based on a polarity mechanism).

Nevertheless, we would like to point out that especially, for this experiment we only experimented it on five participants, which cannot allow us to say things with great certainty. For example, even if the potentiation effect observed for this fourth experiment was greater than that observed during our first, suggesting that, for this kind of protocol, the numbers work better than the adjectives, a matter that must be taken with caution because nothing certifies to us that the results will follow the same trend if we increase our sample (e.g., 28 participants). Moreover, even if the numbers 1000 and 1 do not present a great distinction in terms of visual size, this visual size nevertheless remains a factor confused with the conceptual size (i.e., numerical magnitude). Admittedly, we used the numbers 1000 and 1 instead of for example 1 and 9 (which does not have this visual size confusion problem) to try increasing the distinction between a large and a small "conceptual size", but this choice generated a confounding factor that must be taken into account. On the other hand, it is possible that the transfer of size code from numbers to words did not really happen, so the numbers could have influenced only the answers without taking into account the names of objects (as already reported by Moretto & Pellegrino, 2008). However, a comparison between our study and that of Moretto and Pellegrino

(2008) does not strongly support this last suggestion because we implemented different protocols, since in ours the response was made according to the color of the name of an object (e.g., apple) and not directly on numbers. Hence, we cannot say that the object names were not considered while the response (i.e., chromatic discrimination task) was performed on them. Furthermore, we used a stimulus-stimulus-response paradigm while Moretto and Pellegrino (2008) used a stimulus-response paradigm. Thus, suggesting that even in the possibility that the transfer did not actually occur from numbers to words, it would have occurred from numbers to the response phase.

General discussion

Our main objective during this manuscript was to test whether adjectives and numbers can induce a potentiation effect on words with a transfer process of size codes. The results of our experiments support this possibility. This hypothesis of transfer size code on object names is possible because we used words with which no potentiation effect was reported (Harrak et al. 2022, experiment 3). In our first experiment, in which we used three SOA (object name display times), as well as adjectives, we obtained a potentiation effect, however remaining low. Thus, we carried out a second experiment in which we used a single SOA (i.e., 200 ms) with which we observed the best effect during our first experiment to try to obtain a greater potentiation effect. We also decreased the adjective display time by 100 ms to test if the first stimulus (adjective) that is supposed to transfer a size code needs a well-determined display time for it to generate the effect or if changing the display time will have no impact on the effect. The results of our second experiment indicated a complete absence of the potentiation effect. The absence of a potentiation effect for this second experiment can be explained by the fact that the participants anticipated the response because of using a single SOA instead of three favors this.

We also found that following the change in the display time of the adjective as well as the use of a single SOA induced a succession of trials which was very fast which could also disrupt the transfer process of size code which negates the occurrence of the potentiation effect. Thus, we carried out a third experiment in which we increased the interval between the trials to try to find again the effect. However, this variation was not sufficient to have the expected effect even if our results indicate that the effect is close to the significance threshold, contrary to our second experiment, suggesting that increasing the interval between trials was relevant. Finally, we carried out a fourth experiment in which we used numbers instead of adjectives. We also

used the same procedure from our first experiment. Our results indicated a potentiation effect. In addition, we obtained with this experiment the most important potentiation effect. This suggests at first sight that numbers allow to obtain greater effects than adjectives. However, as we previously explained, given that we experimented this on five participants, in addition to the fact that the visual size of the numbers was confused with their conceptual size, we cannot strongly confirm these suggestions.

In summation, the combined results of all our experiments leave open the possibility that size codes can be transferred with numbers and adjectives to words (names of objects). Furthermore, for the moment nothing certifies to us that the transfer process of size code is produced from the first stimulus (adjective/number) to the name of the object. It is likely that this transfer occurred from the first stimulus directly to the response phase. On the other hand, a simulationist hypothesis remains possible, specifically with the use of adjectives. Indeed, it is possible that the adjective "Large" facilitates motor simulation for words that represent large objects (e.g., apple, pear). This is possible because the characteristic represented by the adjective "Large" is part of the concept of large objects (e.g., avocado, eggplant). Therefore, displaying an adjective (e.g., Small) that shares a conceptual feature with an object name (e.g., cherry) could possibly allow motor simulation with words even with the use of an automatic task.

Conclusion

Overall, our results leave open the possibility that size codes can be transferred from adjectives and numbers to words (object names) inducing a potentiation effect. However, in the current state our results do not allow us to distinguish between an approach by size coding and that by polarity coding. Other studies should be carried out to be able to understand all the workings of this size code transfer process. For example, it would be relevant to try to transfer a size code that does not match the size code suggested by the second stimuli. This may allow us to distinguish between the two alternative coding approaches.

Compliance with Ethical Standards

Disclosure of potential conflicts of interest: we do not have any conflicts of interest

Ethical approval: All procedures performed in 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*. Author. http://www.apa.org/ethics/code/

Andres, M., Davare, M., Pesenti, M., Olivier, E., & Seron, X. (2004). Number magnitude and grip aperture interaction. *Neuroreport*, *15*(18), 2773-2777.

Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617-645. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639

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

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.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of experimental psychology: General*, *122*(3), 371.

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

Garofalo, G., Marino, B. F. M., Bellelli, S., & Riggio, L. (2021b). Adjectives Modulate Sensorimotor Activation Driven by Nouns. *Cognitive Science*, *45*(3). https://doi.org/10.1111/cogs.12953

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

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.2020.104377Lindemann, 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.

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. E., & Barsalou, L. W. (2018). Embodiment and grounding in cognitive neuroscience. *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience*, *3*, 1-27.

Moretto, G., & Di Pellegrino, G. (2008). Grasping numbers. *Experimental brain research*, *188*(4), 505-515.

Miles, J. D., & Proctor, R. W. (2015). Attention is captured by distractors that uniquely correspond to controlled objects: An analysis of movement trajectories. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*(3), 819-829.

Olivier, G., & Velay, J. L. (2009b). Visual objects can potentiate a grasping neural simulation which interferes with manual response execution. *Acta Psychologica*, *130*(2), 147-152. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.11.004

Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence : A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin*, *132*(3), 416-442. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.416

Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus–response compatibility effects?. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 60, pp. 227-266). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8

Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2010). Grasping spheres, not planets. *Cognition*, *115*(1), 39-45.

Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *24*(3), 830.

Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual object categorization. *Visual Cognition*, *8*(6), 769-800. https://doi.org/10.1080/13506280042000144

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

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in cognitive sciences*, *7*(11), 483-488.

Appendix. List of words used with (1) the phase in which they were used (familiarization or test), (2) the size associated to the object denoted (large or small), (3) their English names, (4) their French names, (5) their associated film-frequency (from Lexique3.org, New et al., 2004), (6) their associated book-frequency (also from Lexique3.org, New et al., 2004) and (7) their number of letters. Both frequencies were reported per million of occurrences.

Phase	Associated size	English name	French name	Film frequency	Book Frequency	Number of letters
Familiarization	Large	LEMON	CITRON	8.10	9.05	6
Familiarization	Large	BANANA	BABANE	6.09	4.05	6
Familiarization	Small	RADISH	RADIS	1.81	3.11	5
Familiarization	Small	PEANUT	CACAHUETTE	1.71	0.74	10
Test	Large	APPLE	POMME	19.77	46.08	5
Test	Large	PEAR	POIRE	5.67	10.81	5
Test	Large	EGGPLANT	AUBERGINE	0.35	0.61	9
Test	Large	AVOCADO	AVOCAT	89.28	24.32	6
Test	Small	CHERRY	CERISE	2.75	3.31	6
Test	Small	STRAWBERRY	FRAISE	5.28	3.92	6
Test	Small	HAZELNUT	NOISETTE	0.57	1.69	8
Test	Small	GRAPE	RAISIN	5.88	4.86	6

LA DISCUSSION GÉNÉRALE DE LA THÈSE

VI. DISCUSSION GÉNÉRALE

Dans le cadre de cette thèse, nous avons investigué sur l'effet de potentialisation motrice. Cet effet, est celui d'une facilitation motrice dans une situation compatible par rapport à une situation incompatible, et il s'opère particulièrement dans un paradigme stimulus-réponse. Par exemple, à la suite de la perception d'un grand objet (e.g., pomme), une saisie puissante est facilitée, de même, à la suite de la perception d'un petit objet (e.g., fraise) une saisie fine est également facilitée. Au niveau de la littérature, cet effet de potentialisation est expliqué soit par une approche simulationniste ou par une approche de codage.

L'approche simulationniste (Barsalou, 2008) suggère que l'effet de potentialisation motrice est induit par une simulation motrice. Selon cette approche, à la suite de la perception d'un objet, il se produit une simulation motrice qui permettra la récupération de toute l'expérience vécue par la personne avec ce même objet. En outre, cette récupération comprend la saisie spécifique de l'objet visualisé qui sera amorcée dans le cerveau. Ainsi, si la personne doit effectuer la même saisie qui est évoquée par l'objet visualisé précédemment, celle-ci sera facilitée (i.e., effet de potentialisation motrice). En revanche, la deuxième approche suggère que l'effet de potentialisation est induit par le biais d'une compatibilité de code abstrait. Cependant, deux approches par codage sont possibles et peuvent expliquer l'effet de potentialisation : l'approche par codage de taille et l'approche par codage de polarité.

Dans un premier temps, les deux approches de codage suggèrent que des codes peuvent être attribués aux objets et aux réponses. Ensuite, dans un deuxième temps, elles suggèrent que, s'il y'a une compatibilité de codes entre les stimuli et les réponses un effet de potentialisation peut se produire. Cependant, les deux approches ne font pas appel au même processus. L'approche par codage de taille (Miles & Proctor, 2014) suggère que l'effet de potentialisation peut se produire uniquement s'il réside une différence de taille visuelle des stimuli et des réponses. Plus précisément, s'il y a une différence de taille visuelle entre les stimuli utilisés, les grands stimuli peuvent automatiquement activer un code de grande taille alors que les petits stimuli peuvent activer un code de petite taille. De la même manière, s'il y'a une différence de taille visuelle entre deux dispositifs de réponses, le grand dispositif peut automatiquement activer un code de grande taille alors que le petit dispositif peut activer un code de petite taille. Ainsi, s'il y'a une compatibilité de code de taille entre les stimuli et les réponses un effet de potentialisation peut se produire. Cependant, l'approche par codage de polarité (Proctor et Cho, 2006) suggère que les stimuli et les réponses peuvent être codés selon des codes de polarité (i.e., + ou -) s'ils diffèrent par rapport à une dimension perceptive, conceptuelle ou même

structurelle. Ainsi, l'approche par codage de polarité peut prédire tout ce que l'approche par codage de taille prédit, néanmoins, elle est plus large, car elle défend l'idée qu'il pourrait y avoir des effets de compatibilité entre les stimuli et les réponses qui ne sont pas codés selon les mêmes dimensions (e.g., dimension perceptive et dimension conceptuelle).

Notre objectif principal au cours de ce travail de thèse était de déterminer si l'effet de potentialisation motrice est tributaire d'une approche simulationniste ou d'une approche par codage. Ensuite, notre deuxième objectif, était de trancher entre une approche par codage de taille et celle de polarité uniquement s'il s'avérait que l'effet de potentialisation est tributaire d'une approche par codage.

Pour cela, nous avons émis dans le cadre de cette thèse, les sept hypothèses suivantes :

Première hypothèse : L'importance de la taille visuelle

Deuxième hypothèse : L'effet de potentialisation motrice peut être induit avec une approche par codage de polarité

Troisième hypothèse : Les verbes d'action peuvent faciliter la production d'un effet de potentialisation motrice pour des mots

Quatrième hypothèse : L'approche par codage de taille pourrait dépendre de la taille conceptuelle

Cinquième hypothèse : Les adjectifs (i.e., "grand" vs. "petit") et les nombres (i.e., "1000" vs. "1") peuvent induire un effet de potentialisation sur des mots avec un processus de transfert de code dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse

Sixième hypothèse : L'importance d'une tâche de discrimination chromatique

Septième hypothèse : L'importance de SOA

1. Première série d'expériences : Le rôle de la taille visuelle et des mots

Notre premier objectif était de tester si la lecture d'un simple mot est suffisante pour induire un effet de potentialisation motrice dans le cadre d'une tâche qui implique des processus automatiques (i.e., tâche de discrimination chromatique) comme le suggère l'approche simulationniste. Notre deuxième objectif était de vérifier si la taille visuelle typique (i.e., réelle) des objets est une condition préalable pour obtenir un effet de potentialisation avec les images qui représentent des objets saisissables comme le prédit l'approche par codage.

Pour réaliser ces deux objectifs, nous avons utilisé des mots qui représentent des objets saisissables (i.e., des noms d'objets / e.g., pomme, fraise). En effet, contrairement aux images, les mots permettent un contrôle méthodologique de la taille visuelle. Dans la littérature afférente

à l'effet de potentialisation des comportements de saisie, les images sont généralement représentées dans une taille visuelle typique (i.e., taille réelle). Cela signifie que l'image d'une pomme par exemple est visuellement plus grande que l'image d'une fraise. D'après les différentes approches de codage (i.e., l'approche par codage de taille ; l'approche par codage de polarité), la taille visuelle différente des objets pourrait causer l'occurrence de l'effet de potentialisation. Cependant, dans le cas des mots, un codage de taille basé sur la taille visuelle n'est pas possible, car ils apparaissent tous dans une taille visuelle similaire. Par conséquent, si un effet de potentialisation se produit avec des mots qui représentent des objets saisissables (i.e., noms d'objets), cela signifie que l'effet de potentialisation ne dépend pas de la taille visuelle. Par ailleurs, cela pourrait signifier que les participants ont accédé au concept de l'objet au moyen d'une simulation motrice, étant donné que le codage n'est pas possible. Donc, le fait d'utiliser les mots pourrait aussi nous aider à trancher entre une approche de codage et une approche de simulation.

Nous avons aussi varié la taille visuelle typique (i.e., taille réelle) des images qui représentent des objets. En effet, dans la plupart des études qui reproduisent l'effet de potentialisation des comportements de saisie, les objets utilisés sont présentés dans une taille visuelle correspondante à leur taille réelle (Ellis & Tucker, 2000 ; Grèzes et al., 2003 ; Makris et al., 2011 ; Tucker & Ellis, 2001, 2004). Généralement, les grands objets (e.g., pomme) sont présentés dans une taille visuelle d'environ 10 cm et les petits objets sont présentés dans une taille visuelle d'environ 3 cm. Selon, l'approche par codage de taille, la taille visuelle est une condition préalable pour l'obtention de l'effet de potentialisation avec les images. De ce fait, nous avons varié la taille visuelle réelle des images, en représentant les images de grands et petits objets dans une taille similaire pour voir si cela fait disparaitre l'effet de potentialisation comme le suggère l'approche par codage de taille. En revanche, si l'effet de potentialisation ne disparait pas à la suite de cette variation, cela signifie que l'effet ne dépend pas d'un codage de la taille visuelle mais qu'il résulte d'informations motrices activées ou simulées lors du traitement des objets comme le suggère l'approche simulationniste. Enfin, dans l'une de nos expériences nous avons présenté des noms d'objets avec leurs images en taille réelle et qui étaient mélangés dans le même bloc pour tester ce qui pourrait se produire avec la présentation simultanée de ces deux stimuli.

Cette première série de travaux, a comporté les trois expériences suivantes :

1.1. Expérience 1

Pour cette première expérience, deux objectifs ont été fixés. Le premier, était de tester si la simple lecture d'un mot qui représente un objet saisissable est suffisante pour induire un effet de potentialisation motrice dans le cadre de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques (i.e., tâche de discrimination chromatique). Le deuxième objectif était de tester si la simple perception d'une image d'un objet saisissable présenté en taille réelle induit un effet de potentialisation motrice. Pour réaliser ces deux objectifs, nous avons utilisé des images d'objets saisissables (i.e., pomme, poire, aubergine, avocat, cerise, fraise, noisette, raisin) et des mots qui représentent ces mêmes objets. Par ailleurs, dans cette expérience, nous avons présenté des images d'objets et leurs noms qui étaient mélangés dans le même bloc. Nous allons d'abord détailler, ci-dessous, la procédure de cette expérience, ensuite exposer les résultats et enfin les discuter.

La procédure de la première expérience était la suivante : Chaque essai commençait par une croix de fixation affichée au milieu de l'écran pendant 500 ms, elle était suivie par un nom ou une image d'un objet affiché en noir pendant 200, 400 ou 800 ms. Ensuite, le nom ou l'image devenait orange ou bleu. C'est à ce moment-là que les participants devaient répondre le plus rapidement possible à la variation de la couleur du stimulus en effectuant une saisie puissante ou une saisie fine. Enfin, un écran blanc apparaissait pendant 2500 ms préparant le participant à l'essai suivant. Les résultats de cette expérience ont indiqué un effet de potentialisation (i.e., effet de facilitation motrice). En effet, les temps de réponses des participants étaient plus rapides lorsqu'ils percevaient le nom ou l'image d'un grand objet (e.g., pomme, poire) et devaient répondre avec une saisie puissante alors que les temps de réponses étaient moins rapides lorsqu'ils percevaient le nom ou l'image d'un grand objet et devaient répondre avec une saisie fine. Respectivement, les temps de réponses des participants étaient plus rapides lorsqu'ils percevaient le nom ou l'image d'un petit objet (e.g., fraise, cerise) et devaient répondre avec une saisie fine alors que les temps de réponses étaient moins rapides lorsqu'ils percevaient le nom ou l'image d'un petit objet et devaient répondre avec une saisie puissante.

Par ailleurs, nos résultats ont suggéré que l'effet de potentialisation observé était similaire pour les images et les noms d'objets. En effet, il semble que la simple lecture d'un mot était suffisante pour la production d'un effet de potentialisation motrice (Tucker & Ellis, 2004 ; Barsalou, 2008). Ce dernier résultat, suggère que l'effet de potentialisation avec les mots était dû à une simulation motrice, ce qui est en faveur de l'approche simulationniste plutôt qu'une approche de codage de taille. Cela est envisageable, car la taille visuelle des mots (i.e.,

noms des objets) était contrôlée, pourtant ils ont induit un effet de potentialisation, ce qui est contradictoire à l'approche par codage de taille.

En revanche, l'approche par codage de taille peut très bien expliquer l'effet de potentialisation obtenu pour les images d'objets saisissables, car les images des petits et des grands objets étaient présentées dans une taille visuelle différente ce qui pourrait permettre le codage de taille des images. Dans la même veine, les réponses étaient effectuées avec un dispositif de réponse qui contenait deux boutons de taille différente (i.e., grand/power grip vs. petit/précision-grip) ce qui pourrait permettre le codage des réponses. Ainsi, un effet de potentialisation aurait très bien pu se produire pour les images dans le cas d'une compatibilité de codes de taille entre les images et les réponses.

Néanmoins, à ce stade, nos résultats ne nous permettaient pas de trancher entre l'approche simulationniste et l'approche par codage de taille (ou l'approche par codage de polarité) pour expliquer l'effet de potentialisation motrice. En revanche, une autre alternative pourrait expliquer l'effet de potentialisation obtenu avec les mots d'objets saisissables. En effet, il est envisageable que cet effet de facilitation motrice avec les noms d'objets soit induit par la taille visuelle des images qui représentent ces mêmes objets. Selon cette hypothèse, les codes de taille "grand" et "petit" assignés aux images auraient pu être transférés aux noms de ces même objets, puisque les images et les noms d'objets étaient présentés dans la même expérience et dans le même bloc. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons réalisé une deuxième expérience qui partage quasiment le même protocole que la première mis à part que les images des objets étaient présentées dans une taille égalisée. Cela signifie, que les images des grands objets avaient la même taille visuelle que les images des petits objets. Par exemple, l'image d'une pomme était similaire à celle d'une fraise.

1.2. Expérience 2

Le but de cette deuxième expérience était de tester si l'effet de potentialisation motrice obtenu lors de notre première expérience avec l'utilisation des images et des mots était dû à la taille visuelle réelle des images. En d'autres termes, par cette deuxième expérience, nous avons voulu tester si l'effet de potentialisation motrice dépendait d'un transfert de la taille visuelle des images d'objets sur les noms de ces mêmes objets. Pour cela, nous avons utilisé un protocole identique à celui de la première expérience mis à part que les images des objets affichés précédemment en taille réelle étaient affichées dans une taille égalisée. Autrement dit, la même taille visuelle était attribuée aux grands et aux petits objets. Les résultats de cette deuxième

expérience ont indiqué une absence totale d'effet de potentialisation motrice. En effet, aucun effet de facilitation n'était observé ni pour les images ni pour les noms d'objets (i.e., mots).

Premièrement, ces résultats ont indiqué, conformément à l'approche par codage de taille, que lorsque la taille réelle des images qui représentent des objets saisissables n'était plus disponible, l'effet de potentialisation ne pouvait pas être obtenu. Deuxièmement, ils ont indiqué que l'effet de potentialisation obtenu avec l'utilisation des noms d'objets, lors de notre première expérience, était dû à la disponibilité de la taille visuelle réelle des images de ces mêmes objets. En effet, l'approche par codage de taille peut expliquer l'effet de potentialisation obtenu par les mots lors de notre première expérience. D'abord, un code de taille (i.e., grand vs. petit) pouvait être attribué aux images des objets (i.e., grand objet vs. petit objet). Ensuite, il est possible que ce code de taille puisse être transféré d'une image qui représente un objet au mot (i.e., nom d'objet) qui fait référence au même objet. Cela est envisageable, car les images et les noms d'objets sont présentés dans la même expérience et dans le même bloc. Par exemple, à la suite de l'attribution d'un code de taille (grand) à l'image d'une pomme, ce code pouvait être transféré au mot qui représente le même objet (i.e., pomme). De la même manière, à la suite de l'attribution d'un code de taille (petit) attribué à l'image d'une fraise, il pouvait être transféré au mot qui représente ce même objet (i.e., fraise). De cette manière, l'effet de potentialisation motrice obtenu pour les mots pourrait être expliqué par un processus de transfert de code de taille qui s'opère des images aux noms d'objets. Les résultats de cette deuxième expérience ont suggéré que l'effet de potentialisation est bien tributaire de la taille visuelle dans laquelle les objets sont présentés dans le cadre de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques (i.e., tâche de discrimination chromatique). De plus, ils fournissent une première preuve en faveur de l'approche par codage de taille qui semble être la mieux placée pour expliquer ces résultats.

1.3. Expérience 3

Le but de cette troisième expérience était de tester si la présentation des noms d'objets d'une manière isolée pourrait permettre l'occurrence de l'effet de potentialisation pour des mots. Cependant, au regard des résultats obtenus lors de notre première et deuxième expérience, il était très peu probable que cela se produise. Néanmoins, nous avons tenu à effectuer cette expérience pour ne pas laisser de place au doute. Dans cette troisième expérience, nous avons utilisé un protocole identique aux deux expériences précédentes, mis à part le fait qu'on a uniquement présenté des mots qui représentent des objets saisissables à la place de l'utilisation

des deux types de stimuli (i.e., images et mots d'objets) dans une même expérience. Les résultats de cette troisième expérience ont indiqué l'absence d'un effet de potentialisation. La simple lecture d'un mot, qui représente un objet saisissable n'était pas suffisante pour induire un effet de potentialisation ce qui est en accord avec Flumini et al. (2015). En outre, ces résultats ont suggéré que la simulation motrice avec les mots d'objets ne se produit pas automatiquement dans le cadre de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques.

Les résultats de ces trois premières expériences combinées ont indiqué trois choses importantes. La première, est que la taille visuelle des objets était essentielle pour l'occurrence de l'effet de potentialisation motrice dans le cadre de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. La deuxième, est que l'effet de potentialisation pouvait être induit par une approche par codage de taille (également par une approche par codage de polarité). La troisième, est qu'un processus de transfert de code qui s'opère entre les images et les mots pourrait être envisageable.

Les résultats obtenus à la suite de notre première série d'expériences sont cohérents avec deux de nos hypothèses de thèse. La première hypothèse, qui suggère l'importance de la taille visuelle est conforme à nos résultats. Car, sans la disponibilité de cette taille visuelle des images qui représentaient des objets saisissables, l'effet de potentialisation n'était pas obtenu. Ils sont aussi cohérents avec notre deuxième hypothèse qui suggère que l'effet de potentialisation motrice peut être induit avec une approche par codage de polarité. En effet, même si on a interprété les résultats de cette première série d'expériences avec l'approche par codage de taille, une interprétation basée sur des codes de polarité (i.e., positif "+" et négatif "-") est tout à fait envisageable. Car, comme nous l'avons évoqué précédemment, l'approche par codage de polarité peut prédire tout ce que prédit l'approche par codage de taille. Par ailleurs, étant donné que dans cette première série d'expériences le codage des stimuli était possible uniquement sur la base de la dimension perceptive ce qui peut être expliqué par les deux approches alternatives de codage, nous ne pouvons pas les distinguer.

2. Deuxième série d'expériences : L'importance des verbes d'action

Nos objectifs principaux étaient doubles pour cette deuxième série de travaux. Notre premier objectif était de tester si les verbes d'action modulent l'effet de potentialisation, lorsqu'un mot ou une image est précédé par un verbe d'action, comme le prédit l'approche simulationniste, contrairement à l'approche par codage qui ne prédit aucune modulation des verbes d'action. Notre deuxième objectif était de tester une influence possible de la taille visuelle en présentant

des images d'objets dans une taille visuelle qui correspond à leur taille réelle, ainsi que des noms d'objets pour lesquels la taille était contrôlée, ce qui nous permettrait à nouveau de distinguer entre l'approche simulationniste et celle par codage.

En effet, plusieurs travaux suggèrent qu'observer des effets impliquant un processus de simulation motrice en utilisant de simples noms d'objets saisissables, particulièrement, lorsque la tâche n'implique pas un traitement conceptuel des objets (e.g., tâche de discrimination chromatique), est une chose complexe. En revanche, de nombreux autres travaux suggèrent qu'un processus de simulation pourrait être à l'œuvre pour les stimuli linguistiques si, par exemple, les mots apparaissent dans une phrase ou sont présentés avec un verbe d'action. De ce fait, il nous a semblé judicieux d'utiliser des verbes d'action intégrés dans une phase car plusieurs preuves comportementales (e.g., Fargier et al., 2012 ; Fernandino et al., 2013 ; Glenberg & Kaschak, 2002) et de neuro-imagerie (e.g., Moreno et al., 2013 ; Willems et al., 2010) ont suggéré que les verbes d'action sont capables de moduler le système moteur. Par ailleurs, d'autres études ont réussi à obtenir un effet de potentialisation lorsque des stimuli linguistiques ont été présentés dans le contexte d'une phrase qui contient un verbe avec une tâche qui ne requière pas un processus conceptuel (e.g., Aziz-zadeh et al., 2006 ; Buccino et al., 2005 ; Buccino et al., 2017) suggérant qu'un processus de simulation motrice peut se mettre en place automatiquement avec des stimuli linguistiques. Pour cela, le fait de présenter un verbe d'action, juste avant l'affichage d'un nom d'objet, pourrait permettre l'obtention d'un effet de potentialisation avec des stimuli linguistiques, ce qui est en accord avec l'approche simulationniste contrairement à ce que suggère l'approche par codage. En revanche, d'après l'approche par codage, cela ne devrait avoir aucun impact pour l'occurrence de l'effet de potentialisation avec des images et même avec les mots. De plus, étant donné, qu'un effet de potentialisation avec des images présentées en taille réelle est largement envisageable avec une approche par codage, l'ajout d'un verbe ne devrait pas perturber le processus de codage.

En conséquence, nous avons utilisé les mêmes stimuli linguistiques (noms d'objets) que ceux que nous avons utilisés dans l'une de nos précédentes études (Harrak et al., 2022, expérience 3) et avec lesquels aucun effet de potentialisation n'a été obtenu. Nous avons également utilisé le même protocole que notre précédente étude mis à part le rajout de verbes d'action juste avant l'affichage des noms d'objets ainsi que les mêmes images d'objets saisissables présentés en taille réelle avec lesquels un effet de potentialisation motrice a été obtenu. En outre, nous avons d'abord présenté aux participants des noms d'objets (i.e., mots) en contrôlant leur taille visuelle, ensuite des images qui représentent des objets en taille réelle

qui étaient précédées d'un verbe qui évoque une action manuelle (i.e., SAISIR) ou qui n'évoque pas d'action (i.e., VOIR). Un non-mot (EXLER) était également utilisé comme condition de contrôle.

L'approche simulationniste et celle par codage font des prédictions différentes ce qui pourrait nous permettre de trancher entre ces approches alternatives. En effet, l'approche simulationniste prédit la production d'un effet de potentialisation lorsque les noms et images d'objets sont précédés par le verbe "SAISIR" et le verbe "VOIR". En revanche, l'approche par codage ne prédit aucune modulation des verbes pour l'effet de potentialisation sur les images et les mots. De plus, étant donné que la taille visuelle des mots était contrôlée alors que les images étaient présentées dans une taille réelle, l'approche par codage prédit un effet de potentialisation uniquement sur les images mais pas sur les mots alors que l'approche simulationniste prédit un effet à la fois sur les images et les mots.

Cette deuxième série de travaux a comporté les deux expériences suivantes :

2.1. Expérience 4

Notre objectif dans cette quatrième expérience était de tester si les verbes d'action facilitaient une simulation motrice pour des noms d'objets avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Pour cela, nous avons utilisé une tâche de catégorisation chromatique avec des mots qui représentent des objets saisissables intégrés dans une phrase qui contenait un verbe d'action. Il convient d'abord de détailler, ci-dessous, la procédure de cette expérience, ensuite nous allons exposer les résultats et enfin les discuter.

La procédure de cette expérience était la suivante : Au début de chaque essai une croix de fixation était présentée au milieu de l'écran pendant 500 ms. Juste après, un verbe (i.e., SAISIR ou VOIR) ou un non-mot (i.e., EXLER / condition contrôle) était présenté à l'écran pendant 400 ms, suivi d'un déterminant qui était présenté à l'écran (i.e., un ou une) pendant 400 ms. Ensuite, un nom d'un fruit ou d'un légume (i.e., pomme, poire, aubergine, avocat, cerise, fraise, noisette, raisin) était affiché en noir pendant 200 ou 400 ms. Enfin, ce nom d'objet était présenté en bleu ou en orange. C'est à ce moment-là que le participant devait répondre à la variation de couleur du nom de l'objet avec une saisie puissante ou une saisie fine. La dernière phase était l'apparition d'un écran blanc pendant 2500 ms préparant le participant à l'essai suivant. Les résultats de cette quatrième expérience ont indiqué une absence de l'effet de potentialisation motrice. Par ailleurs, les verbes et le non-mot utilisés n'ont pas modulé l'effet de potentialisation.

Premièrement, ces résultats étaient en accord avec notre précédente étude (Harrak et al., 2022, expérience 3) selon laquelle la simple perception de ces mêmes noms d'objets n'était pas suffisante pour générer un effet de potentialisation motrice avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Deuxièmement, l'absence d'effet de potentialisation n'est pas consistante avec l'approche simulationniste (e.g., Barsalou, 2008, 2009). En effet, selon cette approche, la simple perception de mots devrait induire une simulation motrice produisant un effet de potentialisation et cela même avec l'utilisation d'une tâche qui n'implique pas des traitements conceptuels. Globalement, ces résultats ont suggéré que la simulation motrice ne se produit pas automatiquement avec des noms d'objets saisissables même lorsqu'ils sont intégrés dans une phrase qui contient un verbe d'action. En outre, l'absence d'effet de potentialisation dans cette expérience est en accord avec l'approche par codage de taille qui suggère que le codage de taille des stimuli se produit uniquement si ces derniers diffèrent selon la dimension perceptuelle. En somme, ces résultats renforcent l'approche par codage.

2.2. Expérience 5

Dans cette cinquième expérience notre objectif était de tester si l'effet de potentialisation avec les images qui représentent des objets saisissables était modulé par les verbes d'action. Même si dans notre précédente étude de Harrak et al. (2022, expérience 1), nous avons déjà obtenu un effet de potentialisation avec les mêmes stimuli que nous avons utilisés dans cette expérience, il est probable que l'intégration des verbes d'action perturbe l'effet ou le fait carrément disparaitre. En outre, cela pourrait nous aider à trancher entre une approche simulationniste et celle par codage, car cette dernière ne prédit aucune modulation des verbes contrairement à l'approche simulationniste. Dans cette expérience nous avons utilisé exactement le même protocole que celui de la quatrième expérience mis à part le remplacement des noms d'objets par des images qui les représentent en taille réelle. Cela signifie que l'image d'un grand objet (e.g., pomme) était visuellement plus grande que l'image d'un petit objet (e.g., fraise).

Premièrement, contrairement à notre quatrième expérience, les résultats ont révélé un effet de potentialisation, ce qui est en accord avec notre précédente étude (Harrak et al., 2022, expérience 1). En effet, les temps de réponses étaient plus rapides lorsque les participants percevaient l'image d'un grand objet (e.g., pomme, poire) et devaient répondre avec une saisie puissante, alors que les temps de réponse étaient moins rapides lorsqu'ils percevaient l'image d'un grand objet et devaient répondre avec une saisie fine. Respectivement, les temps de

réponses étaient plus rapides lorsque les participants percevaient l'image d'un petit objet (e.g., cerise, fraise) et devaient répondre avec une saisie fine alors que les temps de réponses étaient moins rapides lorsqu'ils percevaient l'image d'un petit objet et répondaient avec une saisie puissante.

Deuxièmement, les verbes utilisés ont modulé l'effet de potentialisation comme le prédit l'approche simulationniste. Par ailleurs, même si un effet de potentialisation était signalé pour les verbes "SAISIR" et "VOIR", les effets post-hoc indiquent que la meilleure interaction s'est produite pour le non-mot "EXLER". En effet, les résultats ont indiqué que l'effet de potentialisation était différent pour la saisie puissante et la saisie fine. L'effet de potentialisation pour la saisie puissante était signalé pour les deux verbes "SAISIR" et "VOIR" ainsi que pour le non-mot "EXLER" alors que pour la saisie fine l'effet était signalé uniquement pour le non-mot "EXLER". Cette différence entre la saisie puissante et la saisie fine est aussi présente au niveau de la littérature. Certains chercheurs suggèrent que la saisie fine qui est considérée comme une saisie plus fine est plus sensible aux connaissances. Les résultats de Thomas (2015), ont indiqué que la saisie fine est possiblement reliée à la voie parvocellulaire ce qui suggère un lien étroit avec la voie ventrale qui est responsable de la reconnaissance des objets et donc implique les connaissances. Normalement avec l'utilisation du verbe "SAISIR", nous aurions dû observer un effet important, car il implique une action manuelle, surtout que la saisie fine est sensible aux connaissances.

Cependant, nous avons observé une inhibition de l'effet de potentialisation avec la saisie fine pour les verbes contrairement au non-mot. L'explication qui nous a semblé la plus probable est qu'étant donné que la saisie fine est vraisemblablement reliée à la voie ventrale qui implique une influence des connaissances, il est possible qu'à la suite de la perception des verbes "SAISIR" et "VOIR", qui pourraient activer des micro-affordances, il se produit une activation du système moteur en mobilisant exclusivement la saisie fine en perturbant le processus de codage de la taille visuelle des images spécifiquement pour cette réponse. Néanmoins, cette mobilisation du système moteur pour la saisie fine, à la suite de la perception des verbes, est possiblement partielle, ce qui pourrait expliquer l'absence d'influence des verbes dans notre quatrième expérience. Plus précisément, cette activation partielle n'était pas en mesure de générer un effet de potentialisation avec les mots, en revanche elle serait capable de perturber le processus de codage de taille des images ainsi que des réponses. Cela pourrait aussi expliquer l'obtention de l'effet de potentialisation pour la saisie fine avec le non-mot contrairement aux verbes, car finalement le non-mot "EXLER" utilisé comme condition

contrôle n'est pas capable d'activer le système moteur et donc perturber, par là même occasion le processus de codage. De ce fait, il semble que l'influence du langage d'action sur les processus moteurs est partielle avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Ainsi, il est envisageable que le langage puisse activer le système moteur d'une manière plus importante lorsque la tâche implique des traitements conceptuels alors qu'il l'active d'une manière partielle si la tâche requière des traitements automatiques. En somme, nos résultats ont suggéré qu'il est possible qu'un processus de simulation se mette en place parallèlement à un processus de codage. Néanmoins, il est nécessaire d'utiliser d'autre types de tâche pour confirmer d'une manière plus forte ces suggestions. Plus précisément, il serait judicieux d'établir un protocole avec les stimuli linguistiques dans lequel deux expériences peuvent être implémentées avec une variation de la nature de la tâche pour chacune d'elles. La première par exemple, utiliserait une tâche qui impliquerait des traitements automatiques alors que la deuxième impliquerait des traitements conceptuels. Cela nous permettra d'observer la différence qui réside entre ces deux tâches pour la modulation du système moteur avec des stimuli linguistiques. En effet, Garcia et Ibanez (2016) suggèrent que la tâche est centrale pour l'occurrence de l'effet de potentialisation spécialement avec des stimuli linguistiques. D'après ces auteurs, l'effet de potentialisation peut être généré avec des stimuli linguistiques uniquement dans le cadre de l'utilisation d'une tâche de catégorisation sémantique qui requière la concentration du participant sur les éléments conceptuels de l'objet visualisé. Cependant, plusieurs autres études ont signalé un effet de potentialisation avec des stimuli linguistiques intégrés dans une phrase sans nécessairement utiliser une tâche qui requière un traitement conceptuel (e.g., Aziz-zadeh et al., 2006 ; Buccino et al., 2005 ; Buccino et al., 2018).

En outre, contrairement à notre quatrième expérience, celle-ci révèle un effet de la taille visuelle des images d'objets. En effet, les participants répondaient plus rapidement aux grands qu'aux petits objets. Cela peut être expliqué par le fait que les grands objets occupent plus de place dans l'écran, permettant ainsi aux yeux de les détecter plus rapidement. Cela ne s'est pas produit au cours de notre quatrième expérience car nous avons utilisé des mots de taille identique alors que pour cette expérience nous avons utilisé des images de grands et de petits objets présentés en taille réelle.

En somme, les résultats de cette expérience fournissent un soutien supplémentaire à l'approche par codage de taille car, même s'il y'a eu une modulation des verbes pour l'effet de potentialisation des images, l'effet de potentialisation s'est quand même produit, ce qui n'était pas le cas lors de notre quatrième expérience dans laquelle les mots n'ont pas réussi à générer

l'effet. Néanmoins, ces résultats restent cohérents avec l'approche simulationniste, car il y'a eu une modulation des verbes pour l'effet de potentialisation obtenu avec les images, contrairement à ce que prédit l'approche par codage.

Les résultats obtenus à la suite de notre deuxième série d'expériences sont cohérents avec deux de nos hypothèses de thèse alors qu'ils ne le sont pas avec notre troisième hypothèse. En effet, ils sont cohérents avec la première hypothèse, qui suggère l'importance de la taille visuelle car en son absence, lors de notre quatrième expérience, aucun effet n'a été obtenu ce qui est conforme avec notre deuxième et troisième expérience. Ils sont également cohérents avec la deuxième qui suggère que l'effet de potentialisation motrice peut être induit avec une approche par codage de polarité, car même si on a interprété nos résultats dans cette deuxième série d'expériences et spécifiquement pour la cinquième expérience avec l'approche par codage de taille, une interprétation basée sur des codes de polarité (i.e., positif "+" et négatif "-") est tout à fait envisageable. En revanche, nos résultats ne sont pas cohérents avec notre troisième hypothèse qui suggère que les verbes d'action peuvent faciliter la production d'un effet de potentialisation motrice pour des mots, car nous avons observé une absence d'un effet de potentialisation pour notre quatrième expérience dans laquelle des noms d'objets et des verbes ont été utilisés. De ce fait, on peut déjà infirmer cette troisième hypothèse étant donné que nous avons testé des verbes d'action uniquement dans notre deuxième série d'expériences de thèse.

3. Troisième série d'expériences : Le transfert de code de taille

Notre objectif pour cette troisième série de travaux était de tester la possibilité d'un transfert de code de taille induit par des adjectifs (i.e., grand vs. petit) et des nombres (i.e., 1000 vs. 1) qui pourrait induire un effet de potentialisation motrice sur des mots (i.e., noms d'objets). Cela est envisageable, car les adjectifs et les nombres suggèrent une taille conceptuelle qui pourrait possiblement être transférée sur des stimuli linguistiques. Ainsi, dans le cas où un effet de potentialisation est observé avec des stimuli linguistiques, pour nous assurer qu'il a été bien induit par un processus de transfert de code de taille, nous avons utilisé des stimuli avec lesquels aucun effet n'a été signalé en les présentant d'une manière isolée (Harrak et al. 2022, expérience 3). Notre protocole général consistait à présenter un premier stimulus (adjectif ou nombre), suivi par l'affichage en noir d'un nom d'objet (e.g., pomme, cerise) qui se coloriait par la suite (i.e., orange vs. bleu). C'est à ce moment que le participant devait répondre à la variation de la couleur avec une saisie puissante ou une saisie fine. L'approche simulationniste (i.e., Barsalou, 2008) prédit une absence d'un effet de potentialisation avec les adjectifs et les nombres, car ces stimuli ne devraient pas induire une simulation motrice d'une saisie puissante ou fine. Pour

cela, cette troisième série de travaux avait principalement pour but de nous aider à essayer de trancher entre une approche par codage de taille et celle de polarité.

L'approche par codage de taille et celle de polarité font des prédictions différentes pour ce protocole. En effet, si aucun effet de potentialisation n'est observé avec les adjectifs et les nombres, cela fournira une preuve en faveur de l'approche par codage de taille, car la distinction entre deux tailles visuelles n'est pas possible, ce qui pourrait expliquer l'absence de l'effet. En revanche, si un effet de potentialisation est observé avec des nombres et des adjectifs, cela fournira une preuve en faveur de l'approche par codage de polarité. Par ailleurs, cela signifiera que l'effet était induit par une compatibilité de code entre la taille visuelle des réponses et la taille conceptuelle des stimuli suggérant la production d'une compatibilité de code entre différentes formes de dimensions, une dimension perceptuelle et une autre conceptuelle (Proctor & Cho, 2006). En outre, même si la théorie par codage de taille (Miles & Proctor, 2014 ; Masson, 2015) prédit uniquement une compatibilité de code basée sur la taille visuelle, l'observation d'un effet peut aussi être cohérent avec cette approche. En effet, un codage des stimuli basé sur la taille conceptuelle pourrait se produire avec l'approche par codage de taille même si cela n'était pas encore suggéré dans la littérature, ce qui signifie qu'un transfert de code de taille reste également envisageable.

3.1. Expérience 6

L'objectif visé par cette sixième expérience était de tester si les adjectifs peuvent induire un effet de potentialisation sur les mots grâce à un processus de transfert de code de taille dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse. Cela est envisageable, car certains adjectifs (e.g., grand vs. petit) permettent un accès à la taille conceptuelle qui pourrait être codée et ensuite éventuellement transférée. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé les mêmes noms d'objets (i.e., pomme, poire, avocat, cerise, fraise, noisette, raisin) utilisés dans notre précédente étude (i.e., Harrak et al. 2022, expérience 3) avec lesquels aucun effet de potentialisation n'a été signalé. Nous détaillons ci-dessous la procédure de cette expérience, ensuite nous exposerons et discuterons les résultats.

Dans chaque essai une croix de fixation était affichée au centre de l'écran pendant 500 ms. Ensuite un adjectif (i.e., grand vs. petit) était présenté à l'écran pendant 400 ms. Tout de suite après, un nom d'objet (e.g., pomme, fraise) était affiché en noir au centre de l'écran pendant 200,400 ou 800 ms. Enfin, le nom de l'objet était affiché à l'écran en bleu ou en orange et y restait jusqu'à ce que le participant réponde avec une saisie puissante ou fine. A la suite de

la réponse, un écran blanc apparaissait pendant 1500 ms pour préparer le participant à l'essai suivant. Cependant, nous précisons que dans tous les essais, l'adjectif "grand" était présenté uniquement avec des noms d'objets qui font référence à des grands fruits ou légumes (e.g., pomme, poire) et l'adjectif "petit" était présenté uniquement avec des noms d'objets qui font référence à des petits fruits ou légumes (e.g., fraise, cerise).

Nos résultats ont indiqué la production d'un effet de potentialisation pour les mots. En effet, les temps de réponses étaient plus rapides lorsque les participants percevaient l'adjectif "grand" et devaient répondre avec une saisie puissante alors que leur temps de réponses était moins rapide lorsqu'ils percevaient l'adjectif "grand" et devaient répondre avec une saisie fine. Respectivement, les temps de réponses étaient plus rapides lorsque les participants percevaient l'adjectif "petit" et devaient répondre avec une saisie fine alors que leurs temps de réponse était moins rapide lorsqu'ils percevaient l'adjectif "petit" et devaient répondre avec une saisie puissante. Par ailleurs, il est important de noter que la réponse de discrimination chromatique était réalisée sur le nom d'objet et non pas sur l'adjectif ce qui laisse ouverte la possibilité qu'un transfert de code de taille c'est produit de l'adjectif au nom de l'objet. Cela est envisageable, car la présentation de manière isolée de ces mêmes noms d'objets dans notre précédente étude (Harrak et al. 2022, expérience 3) n'était pas suffisante pour induire un effet de potentialisation. Ces résultats préliminaires, sont plus en faveur de l'approche par codage de polarité plutôt qu'une approche par codage de taille qui ne prédit pas un codage en fonction de la dimension conceptuelle même si cela reste envisageable.

Concrètement, notre hypothèse de transfert de code de taille s'explique de la manière suivante : tout d'abord, conformément à l'approche par codage de polarité les adjectifs "grand" et "petit" pourraient être codés par des codes de polarité, car ils diffèrent par rapport à la dimension conceptuelle, ainsi un code de polarité positif "+" pourrait être attribué à l'adjectif "grand" et un code de polarité négatif "-" pourrait être attribué à l'adjectif "petit". Ensuite, ces codes de polarité pourraient être transférés du premier stimulus (i.e., adjectif) au deuxième stimulus (nom d'objet). Par ailleurs, étant donné que les réponses diffèrent par rapport à la dimension perceptive, car la réponse de saisie puissante est visuellement plus grande que la réponse de saisie fine, un code de polarité positif "+" pourrait être attribué à la réponse de saisie puissante alors qu'un code de polarité négatif "-" pourrait être attribué à la réponse de saisie fine. Enfin, un effet de potentialisation motrice pourrait se produire dans le cas d'une correspondance de polarité (i.e., ++ ou --) entre le code de polarité transféré au deuxième stimulus (nom d'objet) et le code de polarité attribué à la réponse.

Maintenant, nous allons expliquer la raison de notre choix pour l'appellation "transfert de code de taille", alors que nous expliquons le processus de transfert avec des codes de polarité. Nous avons choisi cette appellation pour deux raisons principales. Premièrement, l'adjectif "grand" était présenté uniquement avant un mot (nom d'objet) qui représente un grand objet et l'adjectif "petit" était présenté uniquement avant un mot qui représente un petit objet, de ce fait il est possible que le transfert de code fût possible grâce à cette méthodologie spécifique qui consiste à présenter un adjectif qui partage la même taille conceptuelle que l'objet représenté par son nom. En d'autres termes, il se peut que le transfert entre les adjectifs et les mots fût possible grâce à la concordance de leur taille conceptuelle. De ce fait, il est probable, par exemple, que dans le cas, ou on présente l'adjectif "grand" juste avant l'affichage d'un mot qui suggère une petite taille conceptuelle (e.g., fraise) le transfert ne fonctionne pas. Suivant la même logique, il est possible que si on présente l'adjectif "petit" juste avant l'affichage d'un mot qui suggère une grande taille conceptuelle (e.g., pomme) le transfert ne se produit pas. Ainsi, on ne peut pas pour l'instant appeler ce processus un transfert de code de polarité. Cela sera possible si, par exemple, un premier stimulus suggérant une grande taille conceptuelle (e.g., adjectif "grand") transfère un code de polarité positif "+" à un deuxième stimulus suggérant une petite taille conceptuelle (e.g., fraise). Cela sera aussi envisageable si, par exemple, un premier stimulus suggérant une petite taille conceptuelle (e.g., adjectif "petit") transfère un code de polarité négatif "-" à un deuxième stimulus suggérant une grande taille conceptuelle (e.g., poire). Deuxièmement, étant donné qu'une explication de transfert pourrait être avancée avec l'approche par codage de taille (e.g., code grande taille vs. code petite taille) sur la base de la taille conceptuelle, même si la théorie initiale ne le suggère pas, renforce notre choix d'utiliser une appellation spécifique sur la base de la taille (i.e., transfert de code de taille).

En outre, nos résultats ont indiqué que le SOA (i.e., temps d'affichage du nom de l'objet) n'a pas modulé l'effet de potentialisation. Néanmoins, la comparaison post-hoc suggère que l'effet de potentialisation le plus important s'est produit pour le SOA de 200 ms. Cependant, même pour cette SOA de 200 ms, l'effet est significatif mais reste faible. Ainsi, il était probable que l'effet de potentialisation est subtil avec ce protocole et qu'il était masqué car il n'y avait pas assez d'essais pour ce temps d'amorce de 200 ms. De cette manière, nous avons conduit une deuxième expérience dans laquelle nous avons affiché les noms d'objets uniquement pendant 200 ms au lieu de les affichés pendant 200, 400 et 800 ms dans une même expérience. Nous avons également diminué le temps d'affichage de l'adjectif qui était de 400 ms pour le mettre à 300 ms. Cette modification a été établie pour tester si la modification du temps

d'affichage de l'adjectif n'a pas d'impact sur l'effet de potentialisation. En d'autres termes, on a voulu tester s'il était possible d'observer l'effet même en diminuant le temps d'affichage du stimulus qui est censé transférer le code de taille.

3.2. Expérience 7

L'objectif assigné à cette septième expérience était d'augmenter l'effet de potentialisation observé lors de notre sixième expérience. Le protocole adopté était quasiment identique à celui de la sixième expérience mis à part deux modifications. La première, était l'utilisation d'un seul temps de présentation du nom de l'objet (i.e., SOA / 200 ms) à la place de son affichage en fonction de trois temps différents (i.e., SOA / 200,400, et 800 ms). La deuxième, était la diminution du temps d'affichage de l'adjectif de 100 ms, en le présentant durant 300 ms. Cette deuxième modification avait pour but de tester si le temps d'affichage du premier stimulus (adjectif) qui est censé transférer des codes de taille devait être affiché dans un temps bien déterminé ou bien si sa modification n'aura aucun impact sur l'effet de potentialisation.

Nos résultats ont indiqué une absence d'effet de potentialisation contrairement à notre première expérience. Premièrement, l'utilisation d'un seul SOA (i.e., 200 ms) à la place des trois SOA différents (i.e., 200, 400 et 800 ms) pourrait augmenter l'anticipation des réponses des participants et faire ainsi disparaitre l'effet. Il est aussi probable que la réduction du temps d'affichage des adjectifs ainsi que l'utilisation du temps d'amorce le plus court pour le nom de l'objet soient la cause de la disparition de l'effet de potentialisation. Plus précisément, lorsque nous avons testé ce protocole avant de l'expérimenter sur des participants, nous nous sommes rendu compte que les essais se succèdent les uns après les autres très rapidement, ce qui aurait pu perturber le processus de transfert de code de taille. Pour cela, nous avons réalisé une troisième expérience pour tester si la disparition de l'effet de potentialisation était due à l'intervalle entre les essais. Ainsi, nous avons augmenté l'intervalle entre les essais qui était initialement de 1500 ms pour le mettre à 2500 ms.

3.3. Expérience 8

Le but de cette huitième expérience était d'essayer d'obtenir, de nouveau, l'effet de potentialisation observé lors de notre sixième expérience. Nous pensons qu'il faut établir un paramétrage particulier pour que le processus de transfert de code de taille induise un effet de potentialisation. Pour cela, nous avons adopté, lors de cette expérience le même protocole que celui de notre septième expérience mis à part l'augmentation du temps entre les essais de 1000

ms. Donc, pour cette huitième expérience, l'intervalle entre les essais était de 2500 ms. Cela a été établi, car nous avons suspecté que l'annulation de l'occurrence de l'effet de potentialisation, lors de notre précédente expérience, était probablement due à l'intervalle court entre les essais.

Nos résultats ont indiqué une absence d'effet de potentialisation même si l'effet était proche du seuil de la significativité. En d'autres termes, l'utilisation d'un intervalle plus long entre les essais était visiblement plus propice pour l'obtention de l'effet de potentialisation. Néanmoins, cela n'a pas été suffisant pour obtenir l'effet escompté (i.e., un effet significatif). Pour le moment, le protocole établi, lors de notre sixième expérience, semble le plus adapté pour obtenir un effet de potentialisation sur les mots qui pourrait être expliqué par un processus de transfert de code de taille grâce à des adjectifs. Ainsi, nous avons réalisé une neuvième expérience dans laquelle nous avons utilisé le même protocole établi dans notre sixième expérience mis à part l'utilisation des nombres (i.e., 1000 vs. 1) à la place des adjectifs (i.e., grand vs. petit). Comme nous l'avons déjà évoqué, l'usage des nombres pourrait permettre un transfert de code de taille basé sur la taille conceptuelle. En outre, nous avons choisi deux nombres qui permettent une distinction plus prononcée entre une grande taille conceptuelle (i.e., 1000) et une petite (i.e., 1).

3.4. Expérience 9

Notre objectif principal pour cette neuvième expérience était de tester si des nombres (i.e., 1000 vs. 1) pourraient induire un effet de potentialisation sur des noms d'objets. Cela est envisageable car il est possible que les nombres permettent un processus de transfert de code de taille grâce à la disponibilité de leur taille conceptuelle. Pour cela, nous avons utilisé le même protocole que celui de notre sixième expérience (qui nous a permis d'observer un effet de potentialisation) mis à part le fait que nous avons remplacé les adjectifs par des nombres. Nous détaillerons ci-dessous la procédure de cette expérience, et nous exposerons les résultats, pour ensuite les discuter.

Chaque essai commençait par une croix de fixation qui apparaissait au milieu de l'écran. Ensuite, un nombre (i.e., 1000 ou 1) était présenté à l'écran pendant 400 ms. Tout de suite après, un nom d'objet était affiché en noir pendant 200,400, ou 800 ms. Ensuite, le nom de l'objet devenait bleu ou orange. C'est à ce moment-là que le participant devait répondre à la variation de couleur du mot avec une saisie fine ou une saisie puissante. Enfin, un écran blanc apparaissait pendant 1500 ms pour préparer le participant à l'essai suivant.

Nos résultats ont indiqué un effet de potentialisation. Les temps de réponse étaient plus rapides lorsque les participants percevaient le nombre "1000" et devaient répondre avec une saisie puissante alors que leur temps de réponse était moins rapide lorsqu'ils percevaient le nombre "1000" et devaient répondre avec une saisie fine. Respectivement, les temps de réponse étaient plus rapides lorsque les participants percevaient le nombre "1" et devaient répondre avec une saisie fine alors que leur temps de réponse était moins rapide lorsqu'ils percevaient le nombre "1" et devaient répondre avec une saisie puissante. En outre, nous tenons à signaler que l'effet de potentialisation observé pour cette expérience était plus important que celui de notre sixième expérience. De plus, les résultats, ont indiqué que le SOA n'a pas modulé l'effet de potentialisation ce qui suggère que l'effet est similaire pour l'ensemble des SOA (temps d'affichage des noms d'objets) utilisés. Ainsi, ces résultats laissent ouverte la possibilité que les nombres ont permis un transfert de code de taille aux noms d'objets induisant un effet de potentialisation par un processus de transfert de code de taille (voir discussion de notre sixième expérience pour l'explication du processus de transfert de code de taille basé sur un mécanisme de polarité).

Néanmoins, nous tenons à préciser que seuls cinq participants avaient pris part à cette expérience, ce qui ne nous permet pas d'affirmer les résultats avec une grande certitude. Par exemple, même si l'effet de potentialisation observé pour cette neuvième expérience était plus important que celui observé lors de notre sixième expérience suggérant que les nombres fonctionnent mieux pour ce genre de protocole que les adjectifs, ce résultat doit être pris avec précaution car rien ne nous certifie que les résultats suivront la même tendance si nous augmentons notre échantillon (e.g., 28 participants). De plus, même si les nombres 1000 et 1 ne présentent pas une grande distinction au niveau de la taille visuelle, cette dernière demeure néanmoins un facteur confondu avec la taille conceptuelle (i.e., magnitude numérique). Certes, nous avons utilisé les nombres 1000 et 1 à la place, par exemple de 1 et 9 (qui n'ont pas ce problème de confusion au niveau de la taille visuelle) pour essayer d'augmenter la distinction entre une grande et une petite "taille conceptuelle", mais ce choix a généré un facteur confondu qui doit être pris en compte. Par ailleurs, il est possible que le transfert de code de taille des nombres vers les mots ne se soit pas vraiment produit, ainsi les nombres auraient influencé uniquement les réponses sans prendre en compte les noms d'objets (comme il est déjà rapporté par Moretto & Pellegrino, 2008). Cependant, une comparaison entre notre étude et celle de Moretto et Pellegrino (2008) ne permet pas de soutenir avec force cette dernière suggestion car nous avons implémenté des protocoles différents. En effet, dans le nôtre, la réponse a été

effectuée en fonction de la couleur du nom d'un objet (e.g., pomme) et non directement sur des nombres. Donc nous ne pouvons pas dire que les noms d'objets n'ont pas été pris en compte alors que la réponse (i.e., tâche de discrimination chromatique) a été relative à ces derniers. Par ailleurs, nous avons utilisé un paradigme stimulus-stimulus-réponse alors que Moretto et Pellegrino (2008) ont utilisé un paradigme stimulus-réponse. Pour cela, nous suggérons que même dans le cas où le transfert des nombres vers les mots ne s'était pas vraiment produit, il se serait produit des nombres vers la phase de réponse.

Les résultats obtenus à la suite de notre troisième série d'expériences sont cohérents avec trois de nos hypothèses alors qu'ils ne le sont pas avec une seule de nos hypothèses de thèse. Premièrement, dans cette troisième série d'expériences, nous avons obtenu un effet de potentialisation alors que nous avons utilisé des stimuli linguistiques. Plus précisément, nous avons obtenu un effet de potentialisation sans l'usage de stimuli qui proposent deux tailles visuelles différentes (i.e., une grande taille visuelle vs. une petite taille visuelle). Cela, n'est pas cohérent dans une certaine mesure avec notre première hypothèse qui suggère que la taille visuelle est un facteur important pour l'occurrence de l'effet de potentialisation spécifiquement avec une tâche qui implique des traitements automatiques. Deuxièmement, nos résultats sont cohérents avec notre deuxième hypothèse qui suggère que l'effet de potentialisation peut être induit avec une approche par codage de polarité. Il convient de dire que le mécanisme de codage par polarité est le mieux placé pour expliquer le processus de transfert de code de taille que nous avons suggéré. Troisièmement, nos résultats sont cohérents avec notre quatrième hypothèse qui suggère que l'effet de potentialisation pourrait dépendre de la taille conceptuelle des stimuli, car même si notre explication du processus de transfert de code de taille était basée sur une approche par codage de polarité, une explication basée sur une approche par codage de taille (grand vs. petit) reste envisageable. Enfin, nos résultats sont cohérents avec notre cinquième hypothèse qui suggère que les adjectifs (i.e., "grand" vs. "petit") et les nombres (i.e., "1000" vs. "1") peuvent induire un effet de potentialisation sur des mots avec un processus de transfert de code dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse. En effet, nos résultats laissent ouverte cette possibilité même s'il est probable que le transfert de code de taille s'était produit du premier stimulus à la phase de la réponse directement sans forcément impliquer les noms d'objets.

4. L'approche simulationniste ou l'approche par codage ?

Dans cette section nous avons pris en compte l'ensemble de nos résultats confondus pour répondre à la problématique principale de la thèse qui consistait à déterminer de quel processus est tributaire l'effet de potentialisation motrice (i.e., Simulation vs. Codage). Nos résultats ont indiqué qu'aucun effet de potentialisation n'a été signalé avec la présentation d'une manière isolée de stimuli qui avaient une taille visuelle égalisée sauf lorsque nous avons expérimenté dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse. En effet, lors de notre deuxième expérience, les images et les mots présentés dans une taille égalisée n'ont pas induit un effet de potentialisation. Dans la même veine, lors de notre troisième et quatrième expérience la présentation de mots (noms des objets) n'a pas été suffisante pour induire un effet de potentialisation, ce qui est en accord avec l'étude de Flumini et al. 2015. En revanche, lors de notre première expérience, les images des objets saisissables présentées dans leur taille visuelle réelle, mélangées avec des mots (noms des objets) dans un même bloc, ont permis l'occurrence de l'effet de potentialisation. Certes, dans cette première expérience les mots avaient une taille visuelle égalisée, mais leur effet était tributaire de la disponibilité de la taille visuelle réelle des images ; car en son absence l'effet n'était plus signalé lors de notre deuxième expérience. En outre, dans notre cinquième expérience, l'utilisation des images en taille réelle nous a également permis d'observer l'effet de potentialisation. Ainsi, le fait que l'effet de potentialisation n'était signalé que dans des situations dans lesquelles les stimuli n'étaient pas présentés dans une taille visuelle égalisée est en accord avec l'approche de codage.

Au premier abord, ces résultats indiquent que l'effet de potentialisation semble être tributaire d'une approche de codage (Miles & Proctor, 2014 ; Proctor & Cho, 2006), plutôt que d'une approche simulationniste (Barsalou, 2008, 2009) avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Néanmoins, même si nos résultats sont en faveur d'une approche par codage, cela ne signifie pas que la simulation motrice ne se met pas du tout en place avec une tâche qui n'implique pas des traitements conceptuels. En effet, nous avons obtenu des résultats très intéressants, lors de notre cinquième expérience, suggérant que la simulation motrice peut se mettre en œuvre en parallèle d'un processus de codage lors de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Pour rappel, dans notre cinquième expérience les verbes (Saisir et Voir) ont modulé l'effet de potentialisation pour les images présentées en taille réelle. En effet, nous avons présenté, dans cette expérience, des verbes (i.e., Saisir et Voir) ou un non-mot (Exler) juste avant l'affichage d'une image qui représente un objet dans une taille visuelle réelle. Même si nos résultats ont indiqué un effet de

potentialisation, il s'est avéré que pour les verbes (Saisir et Voir), il n'y a pas eu d'effet spécifiquement pour la saisie fine, ce qui n'a pas été le cas pour le non-mot (Exler). Thomas (2015), a suggéré que la saisie fine est particulièrement sensible aux connaissances ; car elle serait reliée à la voie ventrale. De ce fait, il est probable que la perception des verbes a activé des micro-affordances, ce qui a mobilisé la saisie fine et ainsi impacter le codage pour cette saisie spécifique. Ce résultat est d'une importance capitale car il suggère que la simulation et le codage peuvent se mettre en œuvre simultanément même avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Cependant, cette simulation semble être partielle car les verbes n'ont pas modulé l'effet de potentialisation pour les noms des objets lors de notre quatrième expérience.

A la suite de ces constatations, il semble que l'effet de potentialisation est majoritairement tributaire d'une approche de codage avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Néanmoins, une simulation motrice peut se mettre en place dans certaines situations impactant partiellement le codage. Ainsi, nous retenons notre première hypothèse de thèse qui suggère que la taille visuelle est importante pour l'occurrence de l'effet de potentialisation. En revanche, nous infirmons notre troisième hypothèse qui suggère que les verbes d'action peuvent faciliter la production d'un effet de potentialisation motrice pour les mots dans le cadre d'une tâche impliquant des traitements automatiques.

5. L'approche par codage de taille ou l'approche par codage de polarité ?

A la suite de l'ensemble de nos résultats, l'effet de potentialisation semble majoritairement tributaire d'une approche par codage dans le cadre de l'utilisation d'une tâche impliquant des traitements automatiques. De ce fait, notre deuxième objectif était d'essayer de trancher entre les approches alternatives de codage (i.e., taille vs. polarité). Comme nous l'avons évoqué dans d'autres sections, l'approche par codage de taille et celle par codage de polarité expliquent l'effet de potentialisation par une compatibilité de codes entre les stimuli et les réponses. En outre, l'approche par codage de polarité est capable de prédire tout ce que prédit l'approche par codage de taille. Néanmoins, ces deux approches divergent sur un point qui pourrait potentiellement nous permettre de trancher entre elles. En effet, l'approche par codage de polarité (Proctor & Cho, 2006) laisse ouverte la possibilité que les stimuli et les réponses ne soient pas codés par rapport à la même dimension, ce qui n'est pas le cas de l'approche par codage de taille (Miles & Proctor, 2014). Par exemple, selon l'approche par codage de polarité

les stimuli peuvent être codés par rapport à la dimension conceptuelle alors que les réponses peuvent être codées par rapport à la dimension perceptive.

Donc pour pouvoir distinguer entre ces deux approches il était nécessaire d'établir un protocole dans lequel les stimuli et les réponses ne sont pas codés par rapport à la même dimension. Il convient de dire que nos deux premières expériences, dans lesquelles un effet de potentialisation était signalé (expérience 1 et expérience 5) et interprété par une perspective de codage, ne nous permettent pas cette distinction ; car les stimuli et les réponses sont codés par rapport à la même dimension perceptive. De ce fait, pour notre première et cinquième expérience une explication était possible avec les deux approches de codage. Puisque l'approche par codage de taille suggère que les images qui représentent des objets (des grands et des petits objets) dans une taille visuelle réelle, et les réponses (i.e., saisie puissante vs. saisie fine) pourraient être codées avec des codes de taille (i.e., Grand vs. Petit), l'effet de potentialisation pourrait être expliqué par une correspondance de codes de taille (i.e., Grand/Grand ou Petit/Petit). Suivant la même logique, puisque l'approche par codage de polarité suggère que les images et les réponses pourraient être codées avec des codes de polarité (Positif "+" et Négatif "-"), l'effet de potentialisation pourrait donc être expliqué par une correspondance de polarité (Positif/ Positif ou Négatif/ Négatif) entre les images et les réponses. Même au niveau de la littérature, la distinction entre une approche par codage de taille et celle par codage de polarité s'avère complexe. En effet, pour plusieurs études une explication avec les deux approches peut être avancée (Harrak et al., 2022 ; Heurley et al., 2020 ; Lindman et al., 2007 ; Moretto & Pellegrino, 2008).

En revanche, lors de nos quatre dernières expériences (expérience 6,7,8 et 9) nous avons utilisé un protocole qui pourrait permettre une distinction entre les deux approches alternatives de codage. En effet, nous avons utilisé des stimuli qui pourraient être codés par rapport à la dimension conceptuelle alors que les réponses pourraient être codées par rapport à la dimension perceptive. Notre protocole général consistait d'abord à ce que le participant perçoit un premier stimulus (i.e., adjectif ou nombre), ensuite un deuxième stimulus (nom d'un objet). Enfin, il devait donner une réponse (i.e., saisie puissante vs. saisie fine) en fonction de la variation de la couleur (orange vs. bleu) du deuxième stimulus. Notre objectif était d'essayer de transférer des codes de taille du premier au deuxième stimulus pour induire un effet de potentialisation pour des mots. Ainsi, si aucun effet de potentialisation n'était observé avec ce protocole, cela serait en faveur d'une approche par codage de taille, car une distinction entre la taille visuelle des

stimuli n'est pas possible. Alors que, si un effet de potentialisation est observé, cela serait en faveur d'une approche par codage de polarité.

Nos résultats ont indiqué qu'un effet de potentialisation pouvait être observé grâce à l'utilisation des adjectifs et des nombres (expérience 6 et 9). Cet effet de potentialisation était obtenu alors que les stimuli et les réponses étaient codés selon des dimensions différentes, ce qui est conforme avec l'approche par codage de polarité. Néanmoins, nous ne pouvons pas confirmer pour l'instant que l'effet de potentialisation est uniquement tributaire de l'approche par codage de polarité et cela pour deux raisons principales. La première est que, dans ce protocole, les stimuli qui suggèrent une grande taille conceptuelle (i.e., l'adjectif "grand" et le nombre "1000") étaient présentés uniquement avec des mots qui représentent des grands objets (e.g., pomme, poire). De même, les stimuli qui suggèrent une petite taille conceptuelle (i.e., l'adjectif "Petit" et le nombre "1") étaient présentés uniquement avec des mots qui représentent des petits objets (e.g., fraise, cerise). De ce fait, il est probable que si on présente un adjectif (e.g., grand) ou un nombre (e.g., 1000) qui suggère une grande taille conceptuelle avec un mot (e.g., fraise) qui suggère une petite taille conceptuelle, l'effet disparait. Suivant le même raisonnement, il est possible que si on présente un adjectif (e.g., petit) ou un nombre (e.g., 1) qui suggère une petite taille conceptuelle avec un mot (e.g., pomme) qui suggère une grande taille conceptuelle, l'effet disparait également. La deuxième raison est qu'une explication selon une approche par codage de taille pourrait être avancée sur la base de la taille conceptuelle, car même si cette approche ne l'a pas explicitement mentionnée cela reste envisageable.

A la suite de nos résultats et des éléments exposés, nous ne pouvons pas considérer pour l'instant que l'effet de potentialisation est exclusivement tributaire de l'approche par codage de polarité. Ainsi, nous avons appelé l'effet de transfert observé lors de notre sixième et neuvième expérience "le transfert de code de taille" et nous estimons qu'il ne nous est pas possible pour le moment de trancher entre les deux approches de codage qui peuvent toutes les deux expliquer les effets de potentialisation observés.

Cependant, nous pouvons retenir trois de nos hypothèses de thèse. Nous retenons la deuxième hypothèse qui suggère que l'effet de potentialisation motrice peut être induit avec l'approche par codage de polarité. Nous retenons également la quatrième hypothèse qui suggère que l'approche par codage de taille pourrait dépendre de la taille conceptuelle. Enfin, nous retenons la cinquième hypothèse qui suggère que les adjectifs (i.e., grand vs. petit) et les nombres (i.e., 1000 vs. 1) peuvent induire un effet de potentialisation pour des mots avec un processus de transfert de code dans un paradigme stimulus-stimulus-réponse.

6. La dynamique temporelle de l'effet de potentialisation

Au niveau de la littérature, certaines études suggèrent que l'effet de potentialisation se produit dans une fenêtre temporelle bien déterminée. En effet, Makris et al. (2011) ont présenté des images qui représentent des grands et petits objets sur un fond blanc. Ensuite, le fond devenait jaune ou vert. Les participants devaient répondre à la variation de la couleur des stimuli avec une saisie puissante ou fine. De plus, les auteurs ont manipulé la durée d'affichage des stimuli (400, 800, 1200 ms). Leurs résultats ont montré un effet de potentialisation uniquement pour le SOA de 400 ms. Dans une deuxième expérience, leurs participants ont reçu une stimulation magnétique transcrânienne (TMS) au niveau du cortex primaire qui permet le contrôle spécifique des muscles de la main et au même moment, les potentiels moteurs évoqués de ces muscles étaient enregistrés. Le délai entre l'affichage de l'image et la délivrance de l'impulsion magnétique transcrânienne était variable (300, 600, 900 ms). Les résultats ont indiqué une interaction significative, entre le type d'objet et le muscle de la main associé, uniquement lorsque le temps entre l'affichage visuel de l'objet et l'impulsion magnétique était de 300 ms. En outre, Makris et al. (2013) établissent un protocole similaire et suggèrent un effet de potentialisation lorsque le délai entre l'affichage de l'image et l'impulsion magnétique était de 300 ou 400 ms et une absence d'effet lorsque le délai était de 150 ms. En somme, ces résultats suggèrent que la fenêtre temporelle idéale pour l'occurrence de l'effet de potentialisation se situe entre 150 et 600 ms. Par ailleurs, étant donné que les potentiels moteurs évoqués des muscles de la main ne peuvent plus être enregistré après 400 ms, cela suggère qu'une simulation motrice n'est plus possible après ce délai.

Cependant, lors de notre première expérience dans laquelle nous avons mélangé des images d'objets saisissables et leurs noms (mots), nous avons observé pour les images un effet de potentialisation avec un délai d'affichage des images avant la réponse de 800 ms. Cela n'a pas été le cas pour les mots avec lesquels nous avons observé l'effet de potentialisation uniquement avec un délai de 200 et 400 ms entre l'affichage du stimulus et la réponse. Tout d'abord, l'absence d'un effet de potentialisation avec les mots pour le SOA (temps d'affichage du stimulus) de 800 ms est en accord avec le résultat de Garcia et Ibanez (2016) selon lequel la fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation pour les stimuli linguistiques est comprise entre 0 et 400 ms. D'un autre côté, même si une simulation motrice a peu de chance de se produire après un délai de 400 ms, le fait que l'on a observé un effet pour les images avec un SOA de 800 ms peut très bien être expliqué par l'approche de codage qui ne semble pas limitée dans le temps (Proctor et al., 2011). Ainsi, la question qui doit être posée est la suivante : Pourquoi,

notre protocole a favorisé le codage, contrairement à celui de Makris et al. (2011), alors qu'une même tâche de discrimination chromatique a été implémentée dans le nôtre et le sien ?

La réponse qui nous semble la plus évidente est que dans le protocole de Makris et al. (2011) la réponse de catégorisation de couleur était réalisée en fonction de la variation de la couleur du fond de l'écran et non sur l'objet, contrairement à notre protocole. Dans notre protocole, étant donné que c'est l'objet en lui-même qui changeait de couleur, la couleur occupait plus d'espace lorsqu'une image d'un grand objet était affichée alors qu'elle occupait moins d'espace lorsqu'une image d'un petit objet était affichée. De plus, dans notre protocole, le participant était focalisé uniquement sur l'objet qui changeait de couleur alors que dans celui de Makris et al. (2011) le participant, non seulement, visualisait l'objet affiché, mais il devait porter une plus grande attention sur le fond de l'écran. Cela pourrait expliquer l'absence d'effet observé pour les mots à 800 ms ; car les mots qui représentaient des petits et des grands objets avaient la même taille visuelle, ainsi la couleur occupait toujours le même espace pour l'ensemble des mots limitant l'effet du codage.

Par ailleurs, lorsque nous avons basculé vers un paradigme stimulus-stimulus-réponse dans le but de transférer des codes de taille à des mots, nous avons obtenu un effet de potentialisation, alors que l'adjectif (expérience 6) était présenté pendant 600 ms avant la réponse, ce qui n'est pas vraiment en accord avec ce qui est suggéré par Garcia et Ibanez (2016). Plus intéressant encore, lorsque nous avons utilisé des nombres (expérience 9), nous avons obtenu un effet de potentialisation, alors que nous avons largement dépassé la fenêtre temporelle suggérée pour l'effet. En effet, nous avons affiché un nombre (i.e., 1000 vs. 1) pendant 400 ms, puis un mot (nom d'objet) pendant 200, 400 et 800 ms. Ensuite, une réponse était effectuée (i.e., saisie puissante vs. saisie fine) à la suite de la variation de la couleur du mot. Nos résultats ont indiqué un effet de potentialisation avec les trois SOA (200, 400 et 800 ms). Cela signifie, que l'on a obtenu un effet de potentialisation respectivement après 600 ms (SOA 200 ms), 800 ms (SOA 400 ms) et 1200 ms (SOA 800 ms) de l'affichage du nombre responsable de l'effet. De ce fait, nous avons largement dépassé la fenêtre temporelle de l'effet de potentialisation qui est estimé entre 150 et 600 ms. Ces résultats convergent vers l'idée que le codage ne semble pas transitoire à l'instar de la simulation.

7. Les limites de la thèse

Dans cette section nous allons aborder les limites de la thèse.

7.1. La tâche

Dans le cadre de cette thèse, nous avons utilisé une tâche de discrimination chromatique (i.e., tâche de catégorisation de la couleur). Cette tâche est particulière ; car le participant n'a pas besoin de porter une grande attention sur l'objet présenté pour répondre, puisque la tâche ne nécessite pas des traitements conceptuels mais automatiques. De ce fait, lors de l'ensemble de nos expériences, nous avons testé l'automaticité de l'effet de potentialisation.

Au niveau de la littérature, il est suggéré que le codage est automatique et qu'il peut se produire avec n'importe quel type de tâche (Proctor & Vu, 2006). Cependant, même si la théorie simulationniste de base (barsalou, 2008) suggère que la simulation est automatique, plusieurs travaux suggèrent le contraire. En effet, pour l'occurrence de l'effet de potentialisation, plusieurs études suggèrent la nécessité que la tâche implique des traitements conceptuels (Pellicano et al., 2018 ; Saccone et al., 2016 ; Tipper et al., 2006). Par exemple, Tipper et al. (2006) ont signalé un effet de potentialisation lorsque les participants avaient donné des réponses par rapport à la forme (rond vs. carré) alors qu'aucun effet n'était signalé lorsque leurs réponses étaient données par rapport à la couleur (Bleu vs. Vert). De leur côté, Garcia et Ibanez (2016) ont montré que les effets de potentialisation pouvaient être obtenus avec une tâche de catégorisation sémantique mais pas lorsque la tâche ne nécessite pas de traitement conceptuel. De ce fait, si un traitement conceptuel est nécessaire pour générer une simulation motrice, cela signifie que la simulation motrice n'est pas totalement automatique comme il est initialement prédit (Barsalou, 2008). Ainsi, étant donné que la simulation ne semble pas totalement automatique contrairement au codage, le fait d'avoir utilisé exclusivement une tâche qui implique des traitements automatiques favorise d'emblée l'approche par codage.

En effet, pour une distinction équitable entre l'approche simulationniste et l'approche par codage il aurait fallu utiliser d'autres types de tâches qui impliquent des traitements conceptuels. Cela peut expliquer le fait, qu'au cours de l'ensemble de nos expériences, un effet de potentialisation a été observé avec des images d'objets présentés dans une taille réelle conformément à l'approche par codage alors qu'aucun effet n'était observé pour les mots lorsqu'ils étaient présentés d'une manière isolée.

Néanmoins, cela ne veut pas dire qu'aucune simulation n'était observée pendant notre utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques. Lors de notre cinquième expérience, nous avons suggéré que la présentation de verbes (Saisir et Voir) a induit une simulation qui a mobilisé spécifiquement la saisie fine impactant son codage. Cela suggère que même avec l'utilisation d'une tâche de discrimination chromatique une simulation motrice partielle peut se mettre en place. En somme, même si l'effet de potentialisation peut être obtenu avec une tâche qui implique des traitements automatiques, pour une comparaison plus pertinente entre l'approche simulationniste et celle par codage d'autres types de tâche qui implique des traitements conceptuels devraient être utilisés.

7.2. La catégorie des objets

Dans la littérature une distinction claire a été faite entre les objets artificiels et naturels. Tout d'abord, les objets artificiels activeraient des informations relatives à la manipulation et à la fonction des objets alors que les objets naturels activeraient uniquement des informations relatives à la manipulation (Borghi et al., 2007 ; Costantini et al., 2011). En outre, certaines études suggèrent que les objets artificiels sont traités plus lentement que les objets naturels suggérant un recrutement des ressources motrices supplémentaires lors du traitement des objets artificiels (Borghi et al., 2007 ; Costantini et al., 2011 ; Vainio et al., 2008). Par ailleurs, Godard et al. (2019) ont présenté l'image d'une main qui effectuait une saisie (i.e., saisie puissante vs. saisie fine) ou alors une saisie neutre (aucune saisie), suivie de l'affichage de l'image d'un objet. C'est à ce moment que le participant devait effectuer une catégorisation sémantique (Naturel vs. Artificiel) en utilisant des boutons de clavier (Q vs. M). Leurs résultats ont indiqué que les réponses étaient plus rapides à la suite de la perception d'une image de saisie que d'une image neutre, mais uniquement pour les objets artificiels. Cela indique que l'image d'une action de saisie n'a eu aucun impact sur les objets naturels.

Ainsi, toutes ces constatations convergent vers l'idée que la simulation motrice est plus propice avec des objets artificiels. En d'autres termes, pour maximiser les chances d'avoir une simulation motrice, il est préférable d'utiliser des objets artificiels. Cela suggère que l'utilisation des objets naturels favorise le codage, et évite potentiellement qu'un processus de simulation se mette parallèlement en œuvre grâce à des objets artificiels qui favorisent le recrutement de ressources motrices supplémentaires. Etant donné, que lors de l'ensemble de nos expériences nous avons utilisé uniquement des objets naturels (images ou noms de fruits et légumes) cela représente une limite de cette thèse que le lecteur doit prendre en compte. Ainsi,

il est probable que nous n'avions pas pu observer d'effet avec l'utilisation des noms d'objets (mots) car nous avons utilisé uniquement des stimuli naturels ne favorisant pas une simulation motrice.

7.3. Le dispositif de réponse

Dans l'ensemble de nos expériences nous avons utilisé un dispositif qui permet de mimer une action de saisie puissante généralement utilisée pour saisir des grands objets (e.g., pomme, poire) et permettant également de mimer une action de saisie fine généralement utilisée pour saisir des petits objets (e.g., fraise, cerise). Néanmoins, dans notre protocole la saisie puissante n'est pas réalisée avec toute la main comme dans la vie courante lorsque nous saisissons un grand objet (e.g., pomme) mais uniquement avec les trois doigts de la main (i.e., le majeur, l'annulaire et l'articulaire). Même si cela, ne gêne pas forcément le codage, car le bouton de réponse de saisie puissante est visuellement plus grand que le bouton de saisie fine, cela peut perturber la simulation pour cette saisie spécifique puisque ce n'est pas exactement la saisie effectuée pour saisir habituellement les grands objets.

Par ailleurs, tout au long de l'expérience, le participant gardait en main le dispositif (intra-main). Autrement dit, le dispositif ne permettait pas de mimer une action de saisie complète qui comprend le déplacement de la main pour atteindre l'objet et le saisir. De ce fait, il est aussi probable que cette particularité ne permet pas à la simulation de se mettre en place convenablement, car notre dispositif permet uniquement la réalisation du geste final de saisie. Cela pourrait expliquer l'absence d'effet avec les mots lorsque nous les avons présentés d'une manière isolée. En effet, Glover et al. (2004) ont signalé un effet de potentialisation avec la simple lecture de mots. Cependant, dans leur protocole, les participants devaient effectuer un mouvement d'atteinte et saisie d'un bloc de bois contrairement à notre protocole dans lequel la main reste fixe. Ainsi, pour maximiser les chances d'observer une simulation motrice nous suggérons qu'il est préférable de respecter toutes les phases d'un mouvement de saisie, à savoir le mouvement d'atteinte ainsi que le mouvement final de saisie.

Dans ce contexte, Taylor et Zwann (2010) ont établi un protocole très intéressant (mime une action de saisie complète), qui peut être répliqué sur les mots pour tenter d'observer une simulation motrice avec des stimuli linguistiques. Leurs participants devaient juger si l'objet présenté à l'écran était une sphère ou un cube puis de saisir un petit ballon qui mesurait la force de pression de la saisie. Il serait pertinent de légèrement modifier leur protocole en intégrant

des stimuli linguistiques pour éventuellement générer une simulation motrice qui induit un effet de potentialisation pour des mots.

7.4. L'approche par codage

Même si nos résultats s'expliquent majoritairement avec une approche par codage, les résultats de notre deuxième expérience ne sont pas totalement en accord avec une perspective de codage. Dans cette expérience, nous avons mélangé des images en taille égalisée et des mots dans le même bloc. Les résultats de cette expérience ont indiqué une absence d'effet de potentialisation, expliquée par le fait que la taille visuelle des images qui représentent des objets était contrôlée ce qui a empêché le codage des stimuli et par la même occasion la production de l'effet de potentialisation. Néanmoins, étant donné que les mots avaient une taille visuelle plus petite que les images et que, les deux stimuli étaient présentés dans la même expérience et dans le même bloc, ces stimuli pouvaient normalement être codés. Ainsi, un code de taille "grand" aurait pu être attribué aux images, alors qu'un code de taille "petit" aurait pu être attribué aux mots, ce qui aurait dû permettre l'occurrence de l'effet de potentialisation. Or, cela n'a pas été le cas, ce qui constitue, à notre avis, une limite de l'approche par codage.

Par ailleurs, lors de notre neuvième expérience le fait d'avoir utilisé les nombres "1000" et "1" pour essayer de transférer des codes de taille sur la base de la taille conceptuelle représente une limite à notre protocole qui doit être prise en compte. En effet le nombre "1000" possède une taille à la fois conceptuelle et visuelle plus importante que le nombre "1". Ainsi, même si nous suggérons que l'effet de potentialisation était tributaire de la taille conceptuelle, il est probable qu'il était dû à la taille visuelle ou même à un effet simultané des deux tailles conceptuelle et visuelle.

CONCLUSION

VII. CONCLUSION

Dans le cadre de cette thèse, nous avons investigué sur l'effet de potentialisation motrice. Cet effet, est celui d'une facilitation motrice dans une situation compatible par rapport à une situation incompatible, et il s'opère particulièrement dans un paradigme stimulus-réponse. Au niveau de la littérature, cet effet de potentialisation est expliqué soit par une approche simulationniste ou alors par une approche de codage. L'approche simulationniste suggère que l'effet de potentialisation motrice est induit par une simulation sensorimotrice qui stipule qu'à la suite de la perception d'un objet, il se produit une simulation motrice qui permet la récupération de toute l'expérience vécue par la personne avec ce même objet. Cette récupération comprend la saisie spécifique de l'objet visualisé qui sera amorcée dans le cerveau. Ensuite, si la personne doit effectuer la même saisie qui est évoquée par l'objet visualisé précédemment, celle-ci sera facilitée (i.e., effet de potentialisation motrice). La deuxième approche qui peut expliquer l'effet de potentialisation est celle de codage. Elle comprend deux approches (le codage de taille et le codage de polarité) qui peuvent expliquer l'effet de potentialisation par une compatibilité de code entre les stimuli et les réponses.

L'objectif principal de cette thèse était d'investiguer sur l'origine de l'effet de potentialisation motrice dans le cadre de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques (i.e., tâche de discrimination chromatique). Notre premier objectif était de déterminer si l'effet de potentialisation motrice est tributaire d'une approche de simulation motrice ou plutôt d'une approche de codage. Ensuite, notre deuxième objectif consistait à essayer de trancher entre les approches alternatives de codage (i.e., approche par codage de taille vs. approche par codage de polarité).

Notre protocole initial est le suivant : le participant perçoit dans un écran d'ordinateur une image ou un mot qui représente un objet saisissable (i.e., pomme, poire, aubergine, avocat, cerise, fraise, noisette, raisin) affiché en noir. Ensuite, cette image ou ce mot se colorie en bleu ou en orange. A ce moment-là, il devait répondre à la variation de couleur du stimulus par une saisie puissante ou une saisie fine. Nos premiers résultats ont révélé que la taille visuelle réelle des images est nécessaire pour l'occurrence de l'effet de potentialisation motrice avec les images et les mots qui représentent des objets saisissables. En effet, la présentation d'un mot, caractérisant un objet saisissable (i.e., nom d'objet) uniquement, n'était pas suffisante pour induire un effet de potentialisation en utilisant une tâche qui implique des traitements automatiques. Ainsi ces premiers résultats ont été en faveur de l'approche par codage.

Dans un deuxième moment, nous avons ajouté à notre protocole initial un verbe (i.e., "Saisir" et "Voir") ou un non-mot ("Exler"), juste avant l'affichage d'un nom ou d'une image d'un objet saisissable (i.e., mot). L'approche simulationniste prédit une modulation des verbes pour l'effet de potentialisation suggérant qu'un tel effet pourrait être obtenu sur les mots. Nos résultats, ne confirment pas cette possibilité, ce qui est en accord avec l'approche par codage. Cependant, contrairement à ce qui est prédit par l'approche de codage, les verbes ont modulé l'effet de potentialisation sur les images en impactant partiellement leur codage. Nous avons suggéré que, même avec l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques, il est probable qu'un processus de simulation motrice soit implémenté en parallèle avec un processus de codage.

Dans un troisième moment, nous avons ajouté à notre protocole initial des nombres et des adjectifs. Plus précisément, nous avons ajouté un adjectif (i.e., grand vs. petit) et un nombre (i.e., 1000 vs. 1), juste avant l'affichage d'un nom d'objet (e.g., pomme, fraise) pour tester si ces stimuli peuvent induire un effet de potentialisation pour ces mots au moyen d'un transfert de code de taille grâce à la disponibilité de leur taille conceptuelle. Nos résultats suggèrent que l'hypothèse de transfert de code de taille reste envisageable, même si, d'autres études seront nécessaires pour affirmer cette hypothèse de transfert avec plus de certitude.

En somme, en réponse à notre problématique, nous pouvons dire, qu'à l'issue de toutes les expériences menées, l'effet de potentialisation semble majoritairement tributaire d'un processus de codage lors de l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques.

Néanmoins, en l'état, nos résultats ne nous permettent pas de trancher entre les approches alternatives de codage (taille vs. polarité) qui peuvent toutes les deux expliquer les effets observés. Notre thèse ouvre la possibilité à d'autres perspectives de recherche. Nous pensons que, pour pouvoir mieux distinguer entre l'approche simulationniste et celle de codage, il serait pertinent d'utiliser d'autres catégories d'objets (e.g., objet artificiel), et tâches (tâche de catégorisation sémantique). Car, comme nous l'avons expliqué, dans cette thèse, l'utilisation d'une tâche qui implique des traitements automatiques, ainsi que l'utilisation des objets naturels qui favorisent d'emblée le codage, ne permettent pas de trancher d'une manière catégorique entre une approche simulationniste et celle par codage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

VIII. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Allport, D. A. (1985). Distributed memory, modular subsystems and dysphasia. In S. K. Newman & R. Epstein (Eds.), Current perspectives in dysphasia (pp. 32–60). Edinburgh: Churchill Livingstone.

Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. *Perspectives on perception and action*, *15*, 395-419.

Andres, M., Davare, M., Pesenti, M., Olivier, E., & Seron, X. (2004). Number magnitude and grip aperture interaction. *Neuroreport*, *15*(18), 2773-2777.

Ansorge, U., & Wühr, P. (2004). A response-discrimination account of the Simon effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*(2), 365. https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.2.365

American Psychological Association. (2017). *Ethical principles of psychologists and code of conduct*. Author. http://www.apa.org/ethics/code/

Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent Embodied Representations for Visually Presented Actions and Linguistic Phrases Describing Actions. *Current Biology*, *16*(18), 1818-1823. https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.060

Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, *22*(4), 577-660. https://doi.org/10.1017/S0140525X99002149

Barsalou, L. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes*, *18*(5), 1. https://doi.org/10.1080/769813547

Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617-645. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639

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

Bidet-Ildei, C., Meugnot, A., Beauprez, S. A., Gimenes, M., & Toussaint, L. (2017). Short-term upper limb immobilization affects action-word understanding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *43*(7), 1129. https://doi.org/10.1037/xlm0000373

Binder, J. R., & Desai, R. H. (2011). The neurobiology of semantic memory. *Trends in cognitive sciences*, *15*(11), 527-536. https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.10.001

Borghi, A. M., Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2004b). Putting words in perspective. *Memory & Cognition*, *32*(6), 863-873. https://doi.org/10.3758/bf03196865

Borghi, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information?: Studies with hand primes. *Neuroscience Letters*, *411*(1), 17-21. https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.10.003

Borghi, A. M., Flumini, A., Cimatti, F., Marocco, D., & Scorolli, C. (2011). Manipulating objects and telling words: a study on concrete and abstract words acquisition. *Frontiers in psychology*, *2*, 15. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00015

Borghi, A. M. (2012). Language comprehension: Action, affordances and goals. In *Language and action in cognitive neuroscience* (pp. 143-162). Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9780203095508

Borghi, A. M., & Riggio, L. (2015). Stable and variable affordances are both automatic and flexible. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 351. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00351

Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S., Broussolle, E., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, *46*(2),743-756. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.007

Bub, D. N., Masson, M. E., & 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

Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system : A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, *24*(3), 355-363. https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.020

Buccino, G., dalla Volta, R., Arabia, G., Morelli, M., Chiriaco, C., Lupo, A., Silipo, F., & Quattrone, A. (2018). Processing graspable object images and their nouns is impaired in Parkinson's disease patients. *Cortex*, *100*, 32-39. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.03.009

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*(1), 201-218. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05447.x

Castiello, U., Zucco, G. M., Parma, V., Ansuini, C., & Tirindelli, R. (2006). Cross-modal interactions between olfaction and vision when grasping. *Chemical senses*, *31*(7), 665-671. https://doi.org/10.1093/chemse/bjl007

Collins, A.M., & Loftus, E.F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. Psychological Review, 82, 407–428. https://doi.org/10.1037/0033-295X.82.6.407

Costantini, M., Ambrosini, E., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2011). When objects are close to me: affordances in the peripersonal space. *Psychonomic bulletin & review*, *18*(2), 302-308. https://doi.org/10.3758/s13423-011-0054-4

Cimatti, F., Flumini, A., Vittuari, M., & Borghi, A. M. (2016). Odors, words and objects. *Rivista Italiana di Filosofia del Linguaggio*, *10*(1).

Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2010). The object-based Simon effect: Grasping affordance or relative location of the graspable part?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(4), 853. https://doi.org/10.1037/a0019328

Cho, D. T., & Proctor, R. W. (2012). 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

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

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

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of experimental psychology: General*, *122*(3), 371. https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371

Dewey, J. (1896). The reflex arc concept in psychology. *Psychological review*, *3*(4), 357. https://doi.org/10.1037/h0070405

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: human perception and performance*, *27*(1), 229. https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.229

Farah, M. J. (2000). *The cognitive neuroscience of vision*. Blackwell Publishing.

Fargier, R., Paulignan, Y., Boulenger, V., Monaghan, P., Reboul, A., & Nazir, T. A. (2012). Learning to associate novel words with motor actions: Language-induced motor activity following short training. *Cortex*, *48*(7), 888-899. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.07.003

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

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

Fernandino, L., Conant, L. L., Binder, J. R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R. H. (2013). Parkinson's disease disrupts both automatic and controlled processing of action verbs. *Brain and language*, *127*(1), 65-74. https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.07.008

Flumini, A., Barca, L., Borghi, A. M., & Pezzulo, G. (2014). How do you hold your mouse? Tracking the compatibility effect between hand posture and stimulus size. *Psychological Research*, *79*(6), 928-938. https://doi.org/10.1007/s00426-014-0622-0

Fodor, J. (2000). The mind doesn't work that way. Cambridge, MA: MIT Press

Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, Rozzi S, Chersi F, Rizzolatti G (2005) Parietal lobe: from action to understanding. Science 308:662–667. https://doi.org/10.1126/science.1106138

García, A. M., & Ibáñez, A. (2016). A touch with words: Dynamic synergies between manual actions and language. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *68*, 59-95. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.04.022

Garofalo, G., Marino, B. F. M., Bellelli, S., & Riggio, L. (2021b). Adjectives Modulate Sensorimotor Activation Driven by Nouns. *Cognitive Science*, *45*(3). https://doi.org/10.1111/cogs.12953

Gallace, A., & Spence, C. (2006). Multisensory synesthetic interactions in the speeded classification of visual size. Perception & Psychophysics, 68, 1191–1203. http://dx.doi.org/10.3758/BF03193720

Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, *22*(3-4), 455-479. https://doi.org/10.1080/02643290442000310

Gentilucci, M., Campione, G. C., Dalla Volta, R., & Bernardis, P. (2009). The observation of manual grasp actions affects the control of speech: A combined behavioral and Transcranial Magnetic Stimulation study. *Neuropsychologia*, *47*(14), 3190-3202. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.07.020

Gentilucci, M., & Campione, G. C. (2011). Do postures of distal effectors affect the control of actions of other distal effectors? Evidence for a system of interactions between hand and mouth. *PloS ONE*, *6*(5). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019793

Gianelli, C., & Dalla Volta, R. (2015). Does listening to action-related sentences modulate the activity of the motor system? Replication of a combined TMS and behavioral study. *Frontiers in psychology*, *5*, 1511. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01511

Gibson, J. J. (1971). The information available in pictures. Leonardo, 4, 27–35.

Gibson, J. J. (1979). The theory of affordances. The ecological approach to visual perception. *The People, Place and, Space Reader; Routledge: New York, NY, USA*, 56-60.

Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and brain sciences*, *20*(1), 1-19.

Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 558-565. https://doi.org/10.3758/bf03196313

Glover, S., & Dixon, P. (2002). Semantics affect the planning but not control of grasping. *Experimental Brain Research*, *146*(3), 383-387. https://doi.org/10.1007/s00221-002-1222-6

Glover, S., Rosenbaum, D. A., Graham, J., & Dixon, P. (2004). Grasping the meaning of words. *Experimental Brain Research*, *154*(1), 103-108. https://doi.org/10.1007/s00221-003-1659-2

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

Goodale, M. A., & Humphrey, G. K. (1998). The objects of action and perception. *Cognition*, *67*(1-2), 181-207. https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00017-1

Granito, C., Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2015). Naming a lego world. The role of language in the acquisition of abstract concepts. *PloS one*, *10*(1), e0114615. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114615

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

Greenfield, P. M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and brain sciences*, *14*(4), 531-551. https://doi.org/10.1017/S0140525X00071235

Greenwald, A. G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: with special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological review*, *77*(2), 73. https://doi.org/10.1037/h0028689

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*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s00426-021-01635-x

Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, *41*(2), 301-307. https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00838-9

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., Harrak, M. H., Guerineau, R., Morgado, N., & Ferrier, L. P. (2023). EXPRESS: The visual size is enough to automatically induce the potentiation of grasping behaviors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. https://doi.org/10.1177/17470218231155836

Hintzman, D. L. (1984). MINERVA 2: A simulation model of human memory. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *16*(2), 96-101. https://doi.org/10.3758/BF03202365

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

James, W. (1890/1981) The principles of psychology. Macmillan/Harvard University Press. (Original work published 1890).

James, K. H., & Maouene, J. (2009). Auditory verb perception recruits motor systems in the developing brain: an fMRI investigation. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00919.x

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

Kiefer, M., & Barsalou, L. W. (2013). 15 grounding the human conceptual system in perception, action, and internal states. *Action science: Foundations of an emerging discipline*, 381-401.

Kornblum, S. (1991). Stimulus-response coding in four classes of stimulus-response ensembles. In *Tutorials in motor neuroscience* (pp. 3-15). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3626-6_1

Kosslyn, S. M., & Ochsner, K. N. (1994). In search of occipital activation during visual mental imagery. https://doi.org/10.1016/0166-2236(94)90059-0

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. https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1400

Lotze, R. H. (1852) Medicinische Psychologie oder Physiologie der Seele. Weidmann.

Marks, L. E. (2004). Cross–modal interactions in speeded classification. In G. A. Calvert, C. Spence, & B. E. Stein (Eds.), Handbook of mutisensory processes (pp. 85–105). Cambridge, MA: MIT Press.

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

Makris, S., Grant, S., Hadar, A. A., & Yarrow, K. (2013). Binocular vision enhances a rapidly evolving affordance priming effect: behavioural and TMS evidence. *Brain and cognition*, *83*(3), 279-287. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.09.004

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. *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience*, *3*, 1-27.

McFarland, D. J., Miner, L. A., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2000). Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements. *Brain topography*, *12*(3), 177-186. https://doi.org/10.1023/A:1023437823106

McNeill, D. (1992). Hand and Mind1. *Advances in Visual Semiotics*, 351. https://doi.org/10.1515/9783110874259

Moretto, G., & Di Pellegrino, G. (2008). Grasping numbers. *Experimental brain research*, *188*(4), 505-515. https://doi.org/10.1007/s00221-008-1386-9

Moreno, I., de Vega, M., & León, I. (2013). Understanding action language modulates oscillatory mu and beta rhythms in the same way as observing actions. *Brain and cognition*, *82*(3), 236-242. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.04.010

Miles, J. D., & Proctor, R. W. (2015). Attention is captured by distractors that uniquely correspond to controlled objects: An analysis of movement trajectories. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *77*(3), 819-829.

https://doi.org/10.3758/s13414-014-0801-5

New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: A new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, *36*(3), 516-524. https://doi.org/10.3758/bf03195598

Olivier, G., & Velay, J. L. (2009b). Visual objects can potentiate a grasping neural simulation which interferes with manual response execution. *Acta Psychologica*, *130*(2), 147-152. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.11.004

Paivio A. 1971. Imagery and Verbal Processes. New York: Holt, Rinehart & Winston

Paivio A. 1986. Mental Representations: A Dual Coding Approach. New York: Oxford Univ. Press

Parma, V., Ghirardello, D., Tirindelli, R., & Castiello, U. (2011). Grasping a fruit. Hands do what flavour says. *Appetite*, *56*(2), 249-254. https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.12.013

Parise, C. V., & Spence, C. (2013). Audiovisual crossmodal correspondences in the general population. In J. Simner & E. Hubbard (Eds.), The Oxford handbook of synesthesia (pp. 790 – 815). New York, NY: Oxford University Press https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199603329.001.0001

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

Pellicano, A., Iani, C., Borghi, A. M., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2010). Simon-Like and Functional Affordance Effects with Tools : The Effects of Object Perceptual Discrimination and Object Action State. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(11), 2190-2201. https://doi.org/10.1080/17470218.2010.486903

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.

Pfurtscheller, G., Brunner, C., Schlögl, A., & Da Silva, F. L. (2006). Mu rhythm (de) synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *NeuroImage*, *31*(1), 153-159. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.12.003

Proctor, R. W., & Cho, Y. S. (2006). Polarity correspondence: A general principle for performance of speeded binary classification tasks. *Psychological Bulletin*, *132*(3), 416-442. https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.416

Proctor, R. W., & Miles, J. D. (2014). Does the concept of affordance add anything to explanations of stimulus–response compatibility effects?. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 60, pp. 227-266). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800090-8.00006-8

Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(5), 351-360. https://doi.org/10.1038/nrn2811

Rothermund, K., & Wentura, D. (2004). Underlying processes in the Implicit Association Test: Dissociating salience from associations. Journal of Experimental Psychology: General, 133, 139 –165. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.2.139

Rinaldi, L., Lega, C., Cattaneo, Z., Girelli, L., & Bernardi, N. F. (2016). Grasping the sound: Auditory pitch influences size processing in motor planning. *Journal of Experimental*

Psychology: Human Perception and Performance, *42*(1), 11. https://doi.org/10.1037/xhp0000120

Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1985). Levels indeed! A response to Broadbent.

Saccone, E. J., Churches, O., & Nicholls, M. E. R. (2016). Explicit spatial compatibility is not critical to the object handle effect. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, *42*(10), 1643-1653. https://doi.org/10.1037/xhp0000258

Sakreida, K., Scorolli, C., Menz, M. M., Heim, S., Borghi, A. M., & Binkofski, F. (2013). Are abstract action words embodied? An fMRI investigation at the interface between language and motor cognition. *Frontiers in human neuroscience*, *7*, 125. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00125

Sakreida, K., Effnert, I., Thill, S., Menz, M. M., Jirak, D., Eickhoff, C. R., Ziemke, T., Eickhoff, S. B., Borghi, A. M. & Binkofski, F. (2016). Affordance processing in segregated parieto-frontal dorsal stream sub-pathways. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *69*, 89-112. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.032

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing Properties Locally. *Cognitive Psychology*, *43*(2), 129-169. https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0754

Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, *32*(2), 244-259. https://doi.org/10.3758/bf03196856

Stout, D., & Chaminade, T. (2012). Stone tools, language and the brain in human evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*(1585), 75-87. https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0099

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

Singer, W. (1994). A Hypothesis Based on Temporal Coding. *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing*, *15*, 77.

Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2010). Grasping spheres, not planets. *Cognition*, *115*(1), 39-45. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.11.006

Tiainen M, Tiippana K, Vainio M, Peromaa T, Komeilipoor N, Vainio L (2016) Selective Influences of Precision and Power Grips on Speech Categorization. *PLoS ONE* 11(3): e0151688. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151688

Tiainen, M., Tiippana, K., Vainio, M., Komeilipoor, N., & Vainio, L. (2017). Interaction in planning vocalizations and grasping. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(8), 1590-1602. https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1195416

Tipper, S. P., Paul, M. A., & Hayes, A. E. (2006). Vision-for-action : The effects of object property discrimination and action state on affordance compatibility effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 493-498. https://doi.org/10.3758/bf03193875

Thomas, L. E. (2015). Grasp Posture Alters Visual Processing Biases Near the Hands. *Psychological Science*, *26*(5), 625-632. https://doi.org/10.1177/0956797615571418

Tubaldi, F., Ansuini, C., Dematte, M. L., Tirindelli, R., & Castiello, U. (2008). Effects of olfactory stimuli on arm-reaching duration. *Chemical senses*, *33*(5), 433-440. https://doi.org/10.1093/chemse/bjn010

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. 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

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, Schulman M, Tiippana K, Vainio M (2013) Effect of Syllable Articulation on Precision and Power Grip Performance. *PLoS ONE* 8(1): e53061. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053061

Veale, J. F. (2013). 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

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

Warrington, E. K., & McCarthy, R. A. (1987). Categories of knowledge: Further fractionations and an attempted integration. *Brain*, *110*(5), 1273-1296. https://doi.org/10.1093/brain/110.5.1273

Weeks, D. J., & Proctor, R. W. (1990). Salient-features coding in the translation between orthogonal stimulus and response dimensions. *Journal of Experimental Psychology: General*, *119*(4), 355. https://doi.org/10.1037/0096-3445.119.4.355

Willems, R. M., Toni, I., Hagoort, P., & Casasanto, D. (2010). Neural dissociations between action verb understanding and motor imagery. *Journal of cognitive neuroscience*, *22*(10), 2387-2400. https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21386

Whittlesea, B. W. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*(1), 3. https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.1.3

Yang, T. L., Dixon, M. W., & Proffitt, D. R. (1999). Seeing big things: Overestimation of heights is greater for real objects than for objects in pictures. *Perception*, *28*(4), 445-467. https://doi.org/10.1068/p2854