



HAL
open science

Acquisition et utilisation des concepts d'objets : le rôle des expériences sensorielles et motrices

Solène Ambrosi

► **To cite this version:**

Solène Ambrosi. Acquisition et utilisation des concepts d'objets : le rôle des expériences sensorielles et motrices. Médecine humaine et pathologie. Université de Grenoble; Universidade de Lisboa, 2013. Français. NNT : 2013GRENS003 . tel-00948988

HAL Id: tel-00948988

<https://theses.hal.science/tel-00948988>

Submitted on 18 Feb 2014

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

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

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

**préparée dans le cadre d'une cotutelle entre
l'Université de Grenoble et Universidade de Lisboa**

Spécialité : **Sciences Cognitives, Psychologie et NeuroCognition**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par : **Solène AMBROSI**

Thèse dirigée par :

Françoise BONTHOUX et J. Frederico MARQUES

préparée au **Laboratoire de Psychologie et Neurocognition,
CNRS UMR 5105, Université de Grenoble, France**
et à la **Faculdade de Psicologia,
Universidade de Lisboa, Portugal**

dans l'**École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et
l'Environnement (EDISCE)**

ACQUISITION ET UTILISATION DES CONCEPTS D'OBJET : LE ROLE DES EXPERIENCES SENSORIELLES ET MOTRICES.



Thèse soutenue publiquement le **23 janvier 2013**,
devant le jury composé de :

Jean-Pierre THIBAUT

Professeur à l'Université de Bourgogne, Dijon

Rémy VERSACE

Professeur à l'Université Lumière Lyon II

Agnès BLAYE

Professeur à l'Université de Provence

Denis MARESCHAL

Professeur à University of London, UK

Françoise BONTHOUX

Professeur à l'Université de Grenoble

J. Frederico MARQUES

Professeur à Universidade de Lisboa, Portugal

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Directeur

Directeur

*A Toon,
Juste au cas où...*

REMERCIEMENTS

Jean-Pierre Thibaut, Rémy Versace, Agnès Blaye et Denis Mareschal ont accepté de passer du temps à la lecture et à l'évaluation de ce travail. Je tiens à les en remercier chaleureusement.

J'aimerais également remercier ici toutes les personnes qui de près ou de loin, professionnellement et/ou affectivement, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Tout d'abord Françoise Bonthoux et J. Frederico Marques, qui par leur disponibilité, leur soutien sans faille, leur rigueur, leurs critiques et conseils ont su me guider dans la réalisation de ce travail. Entre autres, je ne les remercierai jamais assez de la liberté qu'ils m'ont laissée tout en étant toujours présents quand j'en avais besoin. Nos échanges, à Grenoble ou à Lisbonne ont toujours été riches d'enseignement pour moi. Merci Françoise de m'accompagner depuis le Master 1, de me faire quotidiennement confiance dans les activités de recherche, d'enseignement ou d'encadrement d'étudiants. Merci Frederico d'avoir accepté il y a trois ans d'encadrer ce travail de doctorat, de m'avoir chaleureusement accueilli à Lisbonne et permis d'intégrer votre équipe de recherche. En fait, je vous témoigne toute ma gratitude pour avoir fait de cette aventure doctorale, un plaisir tant intellectuel et scientifique, qu'humain.

Côté collaboration, je tiens à remercier Agnès Blaye, d'avoir accepté, à plusieurs reprises, de travailler avec nous. Merci de nous avoir prêté Tobii ! Merci également à Nicolas Chevalier pour sa gentillesse et ses précieux conseils dans la maîtrise de Tobii et à Stéphane Dufaux pour l'assistance à distance.

Je tiens également à remercier les membres du Sessad de Seyssin, en particulier Emilie Villand et M. Foroni de l'intérêt porté au projet de recherche sur les enfants dyspraxiques.

Puis, je remercie tous les enfants qui ont sympathiquement accepté de participer aux différentes études : sans eux ce travail n'aurait évidemment pas pu exister. Je remercie pour les mêmes raisons les enseignant(e)s qui m'ont reçue dans leur classe malgré des emplois du temps souvent chargés et les parents d'élèves qui m'ont autorisée à « tester » leur progéniture. Je remercie également les adultes qui se sont déplacés pour des pré-tests ou que j'ai dérangés sur leur lieu de travail.

Mes remerciements s'adressent également à tous les membres du Laboratoire de Psychologie et de Neurocognition et du Centro de Investigação em Psicologia (Cognitiva) pour leurs remarques et critiques lors des réunions d'équipe, pour l'émulation scientifique, la bonne humeur, les déjeuners et autres festivités. Le cadre de travail offert par ces deux laboratoires va de pair avec leur qualité scientifique, et ce fut un plaisir de pouvoir y participer.

Merci entre autres, à Ana Raposo, Mafalda Mendes, Ludmila Nunes, Jorge Almeida, Joana do Carmo, Richard Palluel, David Meary, David Alleysson, Stéphane Rousset, Anne Hillairet, Anne Theurel, pour m'avoir écoutée et conseillée. Merci à Christine Cannard pour son soutien dans ces derniers mois. Un merci tout particulier à Claire Leroy... pour tout.

Merci aux co-doctorants du LPNC Fabrice, Ben F., Nico M. et Nico M., Stéphane Sabine, Mélanie, Yannika, Pauline, Laurie, Louise, Lysianne qui travaillent dans la joie et la bonne humeur, et qui par leur solidarité m'ont permis d'avancer sur le chemin semé d'embûches de la thèse. Mes sincères remerciements à ceux qui sont devenus docteurs pendant ces années : Seb, Alice, H2B, Lucie, Mathilde, Fleur, Jenn M. c'était bien sympa de vous avoir pour tracer la route. Et puis des remerciements à mes co-thésards, Ben et Jenn, et à Anne pour avoir vécu au jour le jour cette aventure avec moi, les cafés-clopes, les paniques, les rigolades, etc..

Merci à Marcela, ton amitié, tes conseils, nos échanges, nos fous rires, nos intenses réflexions-bière ont fait de l'aquarium plus qu'un lieu de travail, mais une véritable collocation... Merci d'avoir toujours été là, avec le sourire et la pêche quand je ne les avais pas, de m'avoir accueillie avec enthousiasme à chaque retour de Lisboa.

Merci à Anna, qui m'a permis de me sentir très vite à Lisbonne comme chez moi, merci pour ton amitié et ta confiance sans limite, nos discussions des plus sérieuses aux plus stupides. Merci également à Mafalda, Vera, Jean-Pierre et Miguel pour les soirées, restos et autres choses plaisantes.

Merci à celles qui ont partagé mon quotidien, supporté mes excès de mozzarella, de mauvaise humeur, mes bêtises, mes peines et autres réjouissances, et m'ont permis d'avoir si facilement deux maisons... Dans l'ordre de mes pérégrinations un grand merci à Anaïs, Maria, Jenn, Mara, Jenn et Anne, Ana, Jenn et Anne et Fleur, Aude et Caroline et Elsa. Merci à Yvan avec qui c'est un honneur et un plaisir d'habiter, tu fais partie de ces personnes qui sont rares.

Ces remerciements s'adressent également à ceux dont l'amitié de longue date est précieuse. Ceux qui, par leur soutien inconditionnel, m'ont permis d'en arriver là, qui m'ont supportée et poussée, m'ont permis de respirer mais aussi de me concentrer, ont accepté que je sois toujours débordée... Avec vous c'est juste un plaisir de partager les trop bonnes choses comme les moins bonnes.

Merci à Mallo, Nouch', Pierre, André et Sandrine, Fab, Anne, Ben, Djé, Jenn, Emeline.

Merci à Régis qui s'est avéré d'une incroyable efficacité, ces huit derniers mois ;).

Pour conclure, je tiens à remercier mes parents qui m'ont appris à tout questionner et m'ont donné l'opportunité de faire ce que je voulais. Léna, merci pour la richesse de tes différences et les leçons de vie que tu me donnes, à te battre en permanence. Enfin, merci à Antoine, sans qui ma vie d'enfant aurait été bien triste et ma vie de presque grande encore plus.

Décembre, 2012

RESUMO

Os animais, plantas ou objetos que encontramos no nosso dia a dia têm um número ilimitado de propriedades comuns e distintivas. Mesmo assim, conseguimos perceber semelhanças entre várias entidades, agrupando-as em conjuntos coerentes designados de categorias. A formação de conceitos assenta então na consideração de propriedades comuns aos exemplares que compõem as categorias. Tal pressupõe que se saiba a priori que tipo de semelhança ter em conta de entre o número quasi-ilimitado de pontos comuns entre duas entidades. Esta semelhança poderia estar associada aos episódios ou interações do indivíduo com o seu ambiente. Nos últimos anos, um grande número de estudos com adultos atesta a implicação de sistemas sensório-motores nas atividades conceituais. Para alguns autores, esta implicação é evidência de informações sensório-motoras codificadas nos episódios prévios de encontro com os objetos que seriam reativadas no momento de acesso aos conceitos.

Embora diversos trabalhos deixem pensar que a aquisição de processos categoriais se baseie na consideração de múltiplos índices, poucos trabalhos foram ainda realizados com crianças que permitam concluir a formação e desenvolvimento deste tipo de reativação. A dissertação de doutoramento aqui apresentada interroga a pertinência de uma perspetiva “incarnada” (*embodied perspective*) da formação de conceitos (Barsalou, 2008). Mais precisamente, procura fornecer elementos para uma compreensão da influência das ações na formação de conceitos de objetos, adotando uma abordagem desenvolvimentista.

No Capítulo 1 apresentam-se os modelos clássicos do desenvolvimento conceitual sugerindo pontos de partida unitários para a formação das primeiras categorias. Uma das principais divergências diz respeito à natureza das informações consideradas: as informações perceptivas a partir dos dois meses de idade, segundo Quinn e Eimas (2000); ou as informações funcionais/contextuais no decurso dos dois primeiros anos de vida, segundo Nelson (1983). Mais ainda, se Nelson (1986) postula uma influência direta do contexto de encontro com os objetos, Mandler (2004) tal como Quinn (2008)

propõem um papel crescente para a experiência com os exemplares encontrados. A consideração mais tardia das informações funcionais poderia estar ligada às interações crescentes da criança com o seu meio. Com efeito, o treino de deteção de um tipo de relação determinado torna estas informações mais salientes. Finalmente, estes modelos opõem-se também quanto à natureza dos conhecimentos concetuais. O modelo de Nelson (1983) explicita um processo de abstração entre categorias temáticas e taxonómicas. O modelo de Mandler (2000) pressupõe uma re-descrição dos conhecimentos perceptivos em conhecimentos concetuais. Finalmente, o modelo de Quinn e Eimas (Quinn, 2008) permite considerar um desenvolvimento contínuo em que processos associativos viriam enriquecer as primeiras categorias. O estatuto e a natureza dos conhecimentos taxonómicos são assim especialmente interessantes, em especial nesta última perspetiva.

No Capítulo 2, aborda-se a modulação dos índices utilizados no momento de acesso às relações taxonómicas. Começa-se por uma distinção entre domínios de pertença dos objetos para finalmente preferir uma distinção em termos de utilização ou de manipulação dos objetos. Os diferentes argumentos experimentais apresentados são pouco compatíveis com uma abordagem unitária do desenvolvimento das categorias. Pelo contrário, apoiam de forma especial a pertinência de uma abordagem pluralista como por exemplo o modelo de Lautrey (2003) que propõe que diferentes processos estão subjacentes aos comportamentos categoriais. Na verdade, este modelo permite conciliar as aparentes contradições entre modelos unitários e variabilidade observada na conduta categorial. Considerando que as características da manipulação dos objetos se refletem na organização das categorias taxonómicas, propõe-se que as atividades concetuais das crianças possam estar ligadas às suas interações sensoriais e motoras com objetos. Neste contexto, considera-se que o desenvolvimento categorial será uma capacidade dinâmica emergindo das relações entre ação, perceção e situação. Este quadro permite a apresentação das propostas e desafios das teorias que apoiam a perspetiva incarnada dos conhecimentos concetuais no adulto.

O Capítulo 3 apresenta os trabalhos que procuram apoiar uma perspetiva incarnada dos conhecimentos concetuais no adulto e, de forma mais rara, nas crianças.

Apresentam-se em primeiro lugar os argumentos a favor da existência de simulações sensoriais e motoras durante as atividades conceituais. Em seguida apresentam-se estudos de primação que permitem precisar a natureza sensório-motora dos conhecimentos conceituais. Finalmente, abordam-se os trabalhos que sublinham o papel central que a ação joga na formação e utilização dos conceitos. Nota-se neste contexto que poucos trabalhos até à data permitem mostrar que os conhecimentos conceituais estão intrinsecamente ligados ao contexto de aprendizagem no encontro com os objetos.

A problemática emergente desta síntese bibliográfica conduz à apresentação de uma série de sete experiências agrupadas nos Capítulos 4 e 5. As duas primeiras experiências apresentadas no Capítulo 4 testam a hipótese de simulações sensório-motoras. De forma particular, nestes estudos procura-se avaliar a existência de simulações sensório-motoras a partir dos 7 anos de idade. Se o primeiro estudo permite demonstrar a existência de simulações visuais e motoras na verificação de propriedades, o segundo estudo não permite evidenciar o carácter automático das simulações ligadas à manipulação de objetos. Neste contexto, decidiu-se orientar os trabalhos para o estudo do impacto direto das experiências sensoriais e motoras prévias (i.e. as manipulações de objetos) na elaboração de categorias.

O Capítulo 5 é composto por cinco experiências utilizando um paradigma de treino seguido de teste (i.e. categorização). Este paradigma permite avaliar o impacto diferenciado de dois tipos de treino sensório-motores nos comportamentos de categorização e o tipo de informação categorial considerado por crianças de 5, 7 e 9 anos de idade. Partindo das conclusões das investigações apresentadas no Capítulo 3, os gestos de apreensão permitem considerar as características volumétricas dos objetos enquanto que os gestos de utilização permitem considerar as características funcionais. Esta distinção guiou a escolha do tipo de treinos no paradigma, um implicando a realização de uma ação de apreensão e outro a realização de uma ação de utilização. Os estudos 3 e 4 avaliam a pertinência desta hipótese contrastando um treino de “agarrar com a mão toda” e um treino de “fazer rolar” na categorização de novos objetos desconhecidos (estudo 3) e de objetos familiares do dia a dia (estudo 4). Nos dois

estudos o treino precede uma tarefa de categorização na qual a criança deve escolher entre um objeto compatível (com a preensão com a mão toda ou com a utilização de fazer rolar) e um incompatível. Se as escolhas das crianças de 9 anos são moduladas pelos dois tipos de treino no estudo 3, só as escolhas das crianças de 5 anos que agarraram os objetos são compatíveis com o treino no estudo 4. Em conjunto, os resultados podem sugerir uma ligação entre preensão e escolha de um objeto com o mesmo volume. Contudo, as escolhas de objeto de mesmo volume podem refletir uma estratégia de agrupamento dos objetos com base na semelhança visual entre objetos vistos no treino e imagens de objetos vistas no teste. Neste sentido, procurou-se neutralizar a influência das informações visuais no treino (estudo 5). Neste estudo as crianças manipulavam os objetos sem os verem. O resultados mostraram que na ausência de informação visual durante o treino as crianças categorizam unicamente na base da semelhança de volume, não se observando qualquer efeito do treino na consideração de propriedades específicas. Os resultados dos estudos 3 a 5 levam a concluir que as informações volumétricas constituem um índice mais estável que as informações de utilização. Esta predominância das informações volumétricas poderão depender da perceção da possibilidade (*affordance*) de preensão e do treino de “agarrar com a mão toda”. O estudo 6 inclui estímulos julgados como tendo possibilidades específicas para os gestos realizados (i.e. preensão ou utilização), permitindo assim estudar o papel do treino na consideração de tais possibilidades (*affordances*). Neste estudo contrastam-se dois novos treinos: um treino de preensão “agarrar com pinça fina” e um treino de utilização “carregar num botão”. Novamente, os resultados indicam um viés categorial a favor dos objetos preensíveis. No entanto, se as escolhas categoriais destes objetos parecem dirigidas pela perceção da possibilidade do gesto de preensão, as possibilidades do gesto de utilização não parecem estar subjacentes às escolhas de objetos com a mesma utilização. Parece então que as informações relativas à utilização dos objetos necessitam da consideração de informações visuais (estudo 5) e igualmente da realização de um treino motor (estudo 3). O estudo 7 analisa o decurso temporal da consideração de informações volumétricas e de utilização com um paradigma de registo de movimentos oculares durante uma tarefa de categorização de

nível básico (i.e. identificação dos objetos manipulados). Com este paradigma procura dissociar-se a influência da percepção da possibilidade da influência do treino. Os resultados do estudo sugerem que estes processos influenciam conjuntamente os processos categoriais de crianças de 7 e 9 anos, diferindo segundo idade e treino. Por outro lado, os desempenhos categoriais parecem modulados pela concordância ou discordância entre as informações relativas às ações e as informações sobre a possibilidade de preensão. Muitas questões são levantadas pelos resultados dos diferentes estudos. Se foi possível eliminar certas hipóteses à medida que os trabalhos foram avançando, os resultados obtidos estão ainda longe de serem claros. O último capítulo propõe uma síntese dos diferentes resultados e procura articulá-los com as conceções teóricas derivadas dos trabalhos realizados com adultos e crianças, apresentando ao mesmo tempo as limitações dos diferentes estudos.

Globalmente os resultados indicam uma influência específica das ações de preensão nos comportamentos categoriais das crianças. Os resultados parecem refletir a influência conjunta da manipulação e das possibilidades de preensão percebidas, o que permite compreender, de forma coerente, como o tipo de treino afeta as escolhas de objetos nestes estudos. A escolha maioritária de objetos com a mesma preensão após os treinos de preensão (pinça fina ou mão toda) refletiriam a consideração de informações concordantes por um viés das possibilidades de preensão e do treino de preensão. Por seu turno, a equivalência de escolhas de objetos de mesma preensão e de mesma utilização após os treinos de utilização (fazer rolar ou carregar o botão) refletiriam a consideração de pelo menos duas informações diferentes pelo viés das possibilidades de preensão e do treino de utilização.

A modulação destes efeitos pela idade é mais difícil de explicar. Uma possível explicação é de que os resultados observados nos diferentes estudos evidenciam uma tomada em consideração das propriedades específicas sobre manipulação aumentando com a idade e dependendo das informações sobre a possibilidade de preensão. Do ponto de vista teórico é possível que o suporte sensório-motor das condutas categoriais seja mais benéfico para as crianças mais novas (Arbib, 2008). Arbib (2008) propõe que as informações sensório-motoras seriam constitutivas de um esquema de encontro com

os objetos. Estas características seriam necessárias à construção das primeiras categorias, permitindo dissociar diferentes objetos em termos de ações potenciais. À medida que as categorias se tornam mais enriquecidas (em termos de informação), estas características perderiam importância relativamente a características mais específicas dos objetos. Esta posição aproxima-se da perspectiva de Nelson (2000, ver também Piaget, 1952) quanto ao papel central mas precoce das ações na elaboração das representações conceituais e permite reconsiderar a ligação entre ações e percepção no desenvolvimento da criança.

RESUME

De nombreux travaux chez l'adulte attestent de l'implication des systèmes sensori-moteurs dans les activités conceptuelles. En adoptant une approche développementale, ce travail interroge la pertinence d'une approche incarnée de la formation des concepts et vise à fournir des éléments de compréhension quant à l'influence des actions sur l'organisation des connaissances conceptuelles. Les modèles classiques du développement conceptuel suggèrent des points de départ unitaire aux premières catégories. Le modèle de Nelson souligne l'importance des interactions entre individu et environnement, et celui de Quinn et Eimas au contraire met l'accent sur la similarité perceptive comme point de départ des premières catégories. Ces modèles unitaires sont pourtant remis en cause, notamment par la variabilité des informations prises en compte pour catégoriser les objets. En défendant une approche globale, différentielle et interactionniste, nous envisagerons dans un premier temps une distinction entre domaines d'appartenance des objets (objets naturels et fabriqués) pour lui préférer ensuite une distinction en termes de manipulabilité des objets. Considérant que les caractéristiques de manipulation des objets se reflètent dans l'organisation des catégories taxonomiques, nous proposerons que les activités conceptuelles des enfants soient relatives aux interactions sensorielles et motrices avec les objets. Chez l'adulte, un grand nombre de résultats attestent du rôle de l'action lors de l'accès aux concepts, appuyant les théories de la cognition incarnée (i.e., embodied cognition). Une série de travaux chez l'enfant de 5 à 9 ans a été conduite afin d'étudier, d'un point de vue développemental, les hypothèses d'une cognition incarnée. Deux premières études testent l'existence de simulations sensori-motrices lors du traitement conceptuel. Les cinq suivantes évaluent directement le rôle des actions sur la catégorisation. Sont opposés des gestes de saisie d'objets et des gestes d'utilisation. La saisie d'objets, à pleine main ou à 2-3 doigts, permet très clairement la prise en compte d'informations volumétriques, utilisées ensuite comme critère de catégorisation d'objets nouveaux. Les actions d'utilisation, faire rouler ou appuyer, ont une influence moindre, plus variable selon l'âge des enfants. L'analyse des mouvements oculaires lors de la recherche de cible parmi des distracteurs similaires quant à la saisie ou à l'utilisation permet finalement de distinguer l'influence des affordances à la saisie de celle des actions elles-mêmes. Du point de vue développemental, les affordances à la saisie seraient détectées automatiquement quelles que soient les actions effectuées, dès l'âge de 5 ans, tandis que les informations issues des actions seraient prises en compte peu à peu, celles issues des actions d'utilisation intervenant plus tardivement que celles issues des actions de saisie. En outre, les performances catégorielles semblent modulées par la concordance ou la discordance entre perception d'affordances à la saisie et les informations issues des actions effectuées.

ABSTRACT

In adults, a wide range of results argue that sensory-motor systems are involved during conceptual processing. Following a developmental approach, the dissertation asks whether the development of concepts might be embodied and deals with the influence of action on conceptual knowledge. Classical models of development suggest that conceptual knowledge develops from one mechanism. Nelson's position argues for a derivation of concepts from the interaction children have in their environment, while Quinn and Eimas rather suggest that first categories are build from visual similarity detection. However, children variability in taking account different information when categorizing challenges these models. We adopt a global, differential and interactionist approach to consider that variability in categorization might be explained by a distinction across domain (living *vs.* artifacts) but also by a distinction across manipulability of objects. We further consider that manipulability of objects is reflected in the organization of taxonomic knowledge to propose that children conceptual processing are grounded in the sensorial and motor interactions they have with objects. In adults, different studies show that actions influences conceptual processing; these studies give support to embodied cognition theories., We conducted seven studies in 5 – to 9- year- old children to asses the hypotheses of an embodied development of conceptual knowledge. Two studies test the hypothesis of sensori-motor simulations during conceptual processing. The five following studies directly assessed the influence of action on concepts was assessed in five other studies. We contrasted the influence of grasp and use. Grasp training, either with full hand or pinch, allow children to take into account volumetric information that is subsequently used as cue to categorize new objects. Use training, either push and roll or press, results in a weaker influence that differs with ages. Finally analyses of eye movement pattern during target identification among distractors that could be either grasped or pushed allow us to disentangle the influence of perceived grasp affordances from the influence of training by itself. From a developmental point of view; grasp affordances seem to be automatically detected by the age of five, and whatever the training condition. Information computed during training seems to be gradually taken into account from seven to nine, with use information influence occurring later than grasp information. Moreover, children performances might be modulated by the concordance or the discordance between the perception of grasp affordances and information from action training.

FINANCEMENTS

Ce doctorat a été financé par une Allocation du Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie (M.E.N.R.T).

Les séjours effectués dans le cadre de la cotutelle ont été financé en partie par le Programme d'Actions Universitaires Intégrées Luso-Françaises (P.A.U.I.L.F) et par la région Rhône-Alpes (bourse CMIRA-EXPLORADOC).

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-------------|
| <i>Remerciements</i> | <i>i</i> |
| <i>Resumo</i> | <i>iv</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>x</i> |
| <i>Abstract</i> | <i>xi</i> |
| <i>Financements</i> | <i>xii</i> |
| <i>Table des Matières</i> | <i>xiii</i> |
| <i>Liste des figures</i> | <i>xvii</i> |
| <i>Liste des tableaux</i> | <i>xix</i> |
| <i>Introduction</i> | <i>1</i> |
| <i>Partie Théorique</i> | <i>5</i> |
| Chapitre 1. Les modèles de développement des catégories : la prise en compte des informations visuelles et fonctionnelles | 7 |
| 1. Le développement des catégories chez le jeune enfant : les propositions de Katherine Nelson | 7 |
| 1.1. Les relations fonctionnelles émergent des situations d'interaction avec les objets | 8 |
| 1.2. La définition des scripts et la hiérarchisation des acquisitions : le rôle du contexte dans l'élaboration de catégories abstraites | 14 |
| 2. La position de Mandler : l'origine des compétences conceptuelles, savoir ce qu'est un objet | 19 |
| 2.1. « Seeing is not the same as thinking » : la dissociation entre catégories perceptives précoces et catégories conceptuelles (Mandler, 1988, 1992, 1999, 2000a) | 20 |
| 2.2. Tester l'émergence conceptuelle chez les très jeunes enfants : hypothèses et méthodologie | 23 |
| 3. Des catégories perceptives qui s'accroissent graduellement, la proposition de Quinn et Eimas | 26 |
| 3.1. Des catégories perceptives précoces à l'inclusion de caractéristiques sémantiques et linguistiques : l'hypothèse d'un développement continu de catégories de plus en plus exclusives | 27 |
| 3.2. Concilier acquisition graduelle d'un niveau global à un niveau spécifique avec les capacités perceptives des bébés. | 30 |
| 3.3. Le rôle de l'expertise dans la construction des représentations perceptives précoces | 32 |
| 4. Des résultats incompatibles avec une approche unitaire du développement des catégories. | 35 |
| 4.1. La variabilité inter-individuelle dans les comportements catégoriels des enfants. | 35 |

| | | |
|--|---|------------|
| 4.2. | L'influence des variables expérimentales : les relations taxonomiques et thématiques sont pertinentes. | 39 |
| 4.3. | Questionner la nature perceptive des catégories taxonomiques | 43 |
| Chapitre 2. Des connaissances conceptuelles variables : vers une approche incarnée et amodale des représentations | | 49 |
| 1. | La maîtrise des relations taxonomiques : vers la prise en compte de différents indices selon la nature des objets à catégoriser | 49 |
| 1.1. | La distinction entre objets fabriqués et objets naturels chez les enfants | 50 |
| 1.2. | De la distinction entre domaines à une distinction en fonction de l'utilisation et de la manipulation des objets | 56 |
| 2. | Modéliser la variabilité des conduites catégorielles des enfants | 59 |
| 2.1. | Une conception pluraliste du développement des catégories | 60 |
| 2.2. | Des conduites catégorielles issues d'une interaction entre action, perception, et environnement | 64 |
| 2.3. | Mise en perspectives avec les positions éactives, incarnées | 66 |
| 3. | L'approche incarnée de la cognition chez les adultes | 68 |
| 3.1. | Un cadre théorique entre cognitivisme et connexionnisme | 69 |
| 3.2. | Le renouveau de l'approche incarnée : de la philosophie à la mise en évidence d'un substrat neurophysiologique. | 70 |
| 3.3. | Modélisation dynamique et perspective incarnée des connaissances : la problématique de l'instanciation | 73 |
| 3.4. | Deux propositions théoriques : la théorie écologique de la perception (J. J. Gibson, 1986) et la théorie des symboles perceptifs (Barsalou, 1999) | 75 |
| Chapitre 3. L'implication des systèmes sensori-moteurs lors du traitement conceptuel | | 81 |
| 1. | Arguments en faveur de l'existence de simulations sensorielles et motrices | 82 |
| 1.1. | Comprendre une phrase : une simulation du contenu perceptif et moteur | 82 |
| 1.2. | Un système conceptuel sensible au changement de modalité | 86 |
| 2. | Effet d'amorçage et hypothèse de simulations sensori-motrices | 91 |
| 2.1. | L'activation automatique des informations sensorielles | 92 |
| 2.2. | L'activation automatique des informations motrices | 95 |
| 3. | Le rôle de l'action dans le traitement conceptuel | 98 |
| 3.1. | Implication du système moteur et compréhension des verbes d'action | 99 |
| 3.2. | Les effets de compatibilité : comprendre l'implication des gestes de préhension | 102 |
| 3.3. | L'implication de différents substrats neuronaux dans la prise en compte des informations relatives aux actions sur les objets | 106 |
| 3.4. | Affordances des informations relatives à l'utilisation des objets | 108 |
| 3.5. | Le rôle des expériences de manipulation des objets, vers un ancrage des connaissances conceptuelles dans les actions effectuées | 112 |
| Partie Expérimentale | | 119 |
| Introduction | | 121 |
| Chapitre 4. Etudes Préliminaires | | 125 |

| | |
|---|------------|
| Etude 1. Paradigme de vérification de propriété chez les enfants de 7 ans, et les adultes : l'hypothèse d'un coût de transfert de propriétés | 126 |
| 1.1. Objectifs | 126 |
| 1.2. Méthode | 126 |
| 1.3. Principaux résultats et Discussion | 128 |
| 1.4. Conclusion | 128 |
| Etude 2. Paradigme d'amorçage subliminal à 9 ans et chez les adultes | 130 |
| 2.1. Objectifs | 130 |
| 2.2. Méthode | 132 |
| 2.3. Résultats et Discussion | 134 |
| Chapitre 5. Le rôle de la manipulation dans l'élaboration des catégories | 139 |
| Etude 3. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants. | 144 |
| 3.1. Objectifs | 144 |
| 3.2. Méthode | 145 |
| 3.3. Résultats | 148 |
| 3.4. Discussion | 151 |
| Etude 4. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation d'objets manipulables et familiers. | 155 |
| 4.1. Objectifs | 155 |
| 4.2. Méthode | 157 |
| 4.3. Résultats | 159 |
| 4.4. Discussion | 162 |
| Etude 5. L'influence, en l'absence d'informations visuelles, des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants | 165 |
| 5.1. Objectifs | 165 |
| 5.2. Méthode | 166 |
| 5.3. Résultats et Discussion | 167 |
| Etude 6. L'impact différencié des entraînements « saisir à 2-3 doigts » et « appuyer » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants | 172 |
| 6.1. Objectifs | 172 |
| 6.2. Méthode | 173 |
| 6.3. Résultats | 178 |
| 6.4. Discussion | 184 |
| Etude 7. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » lors de l'identification d'une cible : analyse des mouvements oculaires | 187 |
| 7.1. Objectifs | 187 |
| 7.2. Méthode | 192 |
| 7.3. Résultats | 194 |
| 7.4. Discussion | 205 |
| Discussion Generale | 211 |
| 1. Synthèse des principaux résultats | 213 |

| | |
|--|------------|
| 2. Influence de l'entraînement sensori-moteur sur les conduites catégorielles | 215 |
| 2.1. Hypothèse d'une simulation des propriétés visuelles et motrices _____ | 215 |
| 2.2. Influence des entraînements sensori-moteurs _____ | 216 |
| 2.3. La prise en compte automatique des informations de préhension _____ | 218 |
| 2.4. Influence conjointe de la manipulation et des affordances _____ | 220 |
| 3. Perspectives développementales _____ | 221 |
| 3.1. Des choix catégoriels variables avec l'âge _____ | 221 |
| 3.2. Difficulté de traitement des objets de même « utilisation » et la notion d'objets fabriqués _____ | 222 |
| 3.3. Prise en compte des affordances chez les plus jeunes enfants _____ | 224 |
| 4. Limitations des études et perspectives de recherches _____ | 225 |
| 4.1. Catégorisation taxonomique au niveau de base et au niveau surordonné _____ | 225 |
| 4.2. Validité des gestes d'utilisation _____ | 227 |
| 4.3. Contrôler la similarité visuelle _____ | 228 |
| <i>Conclusion</i> _____ | 229 |
| <i>Références Bibliographiques</i> _____ | 231 |
| <i>Annexes</i> _____ | 247 |

LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Nelson (1974) propose que les concepts d'objet se développent à partir des interactions de l'enfant avec son environnement. Lors de l'interaction initiale (Fig a), des relations fonctionnelles spécifiques à la situation d'interaction émergent et sont synthétisées. Lorsqu'une nouvelle interaction (Fig b) donne lieu à une synthèse fonctionnelle similaire à la précédente, le concept en développement est défini par la prise en compte de caractéristiques fonctionnelles communes aux différentes interactions et enrichi par la prise en compte d'invariants propres à l'objet, des caractéristiques perceptives non fonctionnelles (Fig c). _____ 9
- Figure 2 : Illustration du matériel utilisé par Kemler Nelson, Russell, et al. (2000). Les enfants apprennent d'abord la fonction et le nom de nouveaux objets (Fig 2a). Les objets tests (Fig 2b) sont ensuite présentés par paire, l'enfant devant généraliser le nom appris, par exemple « Gidget », à l'un des deux objets. _____ 12
- Figure 3 : Illustration de l'acquisition des connaissances conceptuelles taxonomiques selon le modèle de Nelson (1983, 1985) : de l'expérience du petit déjeuner à la catégorie des boissons. Fig 3a : Les scripts sont élaborés à partir d'expériences de la vie quotidienne ; ils incluent des éléments divers regroupés sur la base de leur proximité spatio-temporelle dans un même contexte. Fig 3b : Au fur et à mesure de ses expériences, l'enfant comprend que certains objets remplissent la même fonction et sont substituables les uns aux autres : ils sont alors regroupés en catégories slot-filler. Fig 3c : Finalement, l'enfant perçoit des similarités fonctionnelles entre différentes catégories slot-filler par exemple, ce que l'on boit au petit déjeuner et ce que l'on boit au repas. Cette généralisation est à l'origine des catégories taxonomiques décontextualisées, les boissons par exemple. _____ 16
- Figure 4 : Illustration du modèle de Mandler (e.g., Mandler, 2000), supposant un développement discontinu des catégories, impliquant des représentations perceptives précoces, résultat d'un processus automatique d'extraction de similarité, et des catégories conceptuelles plus tardives, plus élaborées et plus abstraites, reposant sur la prise en compte et l'utilisation de propriétés fonctionnelles des objets. _____ 22
- Figure 5 : Procédure de la tâche d'amorçage utilisée chez les adultes (à gauche) et chez les enfants (à droite). Bien que le temps de présentation de l'amorce diffère selon l'âge des participants et la longueur du mot amorcé, le SoA est fixé à 250 ms. La figure montre un exemple de paire amorce ciblée (à gauche) et non ciblée (à droite). _____ 134
- Figure 6 : Exemple d'objets utilisés dans la phase d'entraînement (2 sphères à gauche) et dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : un objet de même volume, un objet de même utilisation et un objet incompatible). _____ 147
- Figure 7 : Pourcentage moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Utilisation et Volume) et de la condition d'entraînement (« Saisir à pleine main » ou « Faire rouler »). Les barres représentent l'erreur standard. _____ 149
- Figure 8: Répartition (%) des enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix compatible avec l'entraînement réalisé : un profil volume après un entraînement Saisir à pleine main (Profil Volume/Saisir) ou un profil utilisation après l'entraînement Faire Rouler (Profil Utilisation/Rouler). _____ 151

- Figure 9. Images utilisées dans la phase d'entraînement (la sphère à gauche) et dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : la sphère utilisée comme point de fixation, un objet de même volume, un objet de même utilisation, et un objet incompatible). _____ 159
- Figure 10 : Pourcentages moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Volume et Utilisation) et de la condition d'entraînement (Saisir à pleine main et Faire rouler). Les barres représentent l'erreur standard. _____ 160
- Figure 11 : Répartition (%) des enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix compatible avec l'entraînement réalisé : un profil volume après un entraînement saisir à pleine main (Profil Volume/Saisir), ou un profil utilisation après l'entraînement Faire Rouler (Profil Utilisation/Rouler). _____ 162
- Figure 12 : Pourcentage moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Volume et Utilisation) et de la condition d'entraînement (Saisir à pleine main et Faire rouler). Les barres représentent l'erreur standard. _____ 168
- Figure 13 : Photographie des objets de la phase d'entraînement. Tous les objets ont la même partie trapézoïdale mais varient sur la forme globale du socle et la couleur. Selon la condition d'entraînement, les enfants devaient saisir la partie trapézoïdale et soulever l'objet (entraînement « saisir pince fine ») ou appuyer sur la partie trapézoïdale (entraînement « appuyer »). _____ 175
- Figure 14 : Exemples d'images utilisées dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : un objet préhensible, un objet appuyable, un objet préhensible et appuyable et un objet ni préhensible ni appuyable). _____ 176
- Figure 15 : Pourcentage de choix moyens d'objets congruents et incongruents en fonction de la condition d'entraînement (saisir à 2-3 doigts vs. appuyer). Les choix d'objets préhensibles sont congruents avec un entraînement « saisir à 2-3 doigts », mais incongruents avec un entraînement « appuyer ». Les choix d'objets appuyables sont congruents après un entraînement « appuyer », mais incongruents après un entraînement « saisir pince fine ». Les choix d'objets préhensibles et appuyables sont congruents avec les deux entraînements. _____ 180
- Figure 16 : Temps moyens de réponse (ms) en fonction de l'entraînement et du type d'objet choisi pour les enfants de 5, 7 et 9 ans. La Figure 16a. illustre le pattern général des résultats. La Figure 16b. illustre les moyens temps de réactions (ms) en fonction du type d'objet choisis (A-Appuyable, P-Préhensible, P&A-Préhensible et Appuyable) et de l'entraînement (Saisir à 2-3 doigts ou Appuyer). La Figure 16c. illustre la modulation des choix (A-Appuyable, P-Préhensible, P&A-Préhensible et Appuyable) en fonction de l'entraînement (Saisir à 2-3 doigts ou Appuyer). _____ 183
- Figure 17 : Représentation graphique du décours temporel des proportions de fixation sur la cible et les distracteurs (Volume, Utilisation ou non relié) en fonction de l'entraînement réalisé au préalable « Saisir à pleine main » (saisir) ou « Faire rouler » (rouler) par les enfants de 5 ans (en haut), 7 ans (en bas à gauche), et 9 ans (en bas à droite). Les barres représentent les écart-types. La ligne horizontale permet de situer 70% de fixations sur la cible, les deux barres verticales permettent de visualiser les deux patterns analysés : le pattern des fixations précoces (i.e., avant 800 ms à 5 ans, et avant 400 ms à 7 et 9 ans) et le pattern des fixations plus tardives (i.e., entre 800 ms et 1600 ms à 5 ans, et entre 400 ms et 800 ms à 7 et 9 ans). _____ 197

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Dispositif expérimental utilisé par Tanaka & Quinn (2007) afin de tester le maintien des capacités catégorielles au niveau sous-ordonné (des chats ou des chiens) en fonction de la tâche précédente : catégoriser des stimuli de même catégorie de niveau de base (NB identique) ou d'une autre catégorie de niveau de base (NB différent). Les étoiles * indiquent l'exemplaire le plus regardé. Ainsi, si tous les bébés sont capables de construire des représentations catégorielles au niveau sous-ordonné (Phase 1), il leur semble difficile de s'extraire de ce premier regroupement pour construire d'autres représentations catégorielles de niveau sous-ordonné (Phase 2). _____ 33
- Tableau 2 : Temps de latence moyens de dénomination en ms (écarts types entre parenthèses) en fonction du contexte de présentation de la cible (Relié – R ; Non Relié – NR) et de l'âge des participants. _ 135
- Tableau 3 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7 et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Utilisation), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler). _____ 150
- Tableau 4 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Fonction), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler). _____ 161
- Tableau 5 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7 et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Fonction), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler). _____ 169
- Tableau 6 : Moyenne (et écart-type) du nombre d'objets appuyables, préhensibles, ou préhensibles et appuyables considérés comme appartenant à la catégorie des objets manipulés lors de l'entraînement en fonction du type d'entraînement « saisir à 2-3 doigts » ou « appuyer ». Etant donné qu'il y avait 5 objets de chaque type, les moyennes sont sur 5. _____ 181
- Tableau 7 : Pourcentages moyens d'identification de la cible en fonction de la condition d'entraînement et de l'âge. Les écarts- types sont donnés entre parenthèses. _____ 195
- Tableau 8 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 5 ans entre 0 et 800 ms après l'apparition des stimuli. _____ 200
- Tableau 9 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, et le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 7 et 9 ans entre 0 et 400 ms après l'apparition des stimuli. _____ 201

Tableau 10 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, le distracteur incompatible) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 5 ans entre 800 et 1600 ms après l'apparition des stimuli. _____203

Tableau 11 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, et le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 7 et 9 ans entre 400 et 800 ms après l'apparition des stimuli. _____204

INTRODUCTION

Les différentes entités que nous rencontrons dans notre environnement ont un nombre illimité d'éléments communs et distinctifs. Néanmoins, nous arrivons à percevoir des similarités afin de regrouper certaines de ces entités en des ensembles cohérents, les catégories. La formation des concepts repose alors sur la prise en considération de propriétés communes aux exemplaires composant les catégories. Ceci suppose que l'on sache a priori quelle similarité prendre en compte entre des entités disposant d'un nombre quasi-illimité de points communs. Ainsi, le concept en cours de formation devrait trouver dans les objets auxquels il réfère les raisons de son regroupement (i.e., similarité) avec d'autres objets, potentiellement de même catégorie. Ceci pose, d'un point de vue logique, un problème de circularité. Une des solutions est l'inclusion dans les modèles de catégorisation de processus venant guider a priori la prise en compte de certaines similarités entre les exemplaires comme l'utilisation des théories naïves (Murphy & Medin, 1985) ou le guidage par le traitement global (Pacteau, Bonthoux, & Lautrey, 1996).

Une autre solution est de considérer que les concepts émergent des interactions de l'individu avec son environnement. Les approches développementales, en questionnant les processus responsables de la formation des catégories, pourraient justement permettre d'évaluer la nécessité de tels processus. Ces dernières années, un grand nombre d'études chez l'adulte a permis de montrer une implication des processus sensoriels et moteurs lors de l'accès aux connaissances conceptuelles. Pour certains auteurs, cette implication signe la réactivation, lors de l'accès aux concepts, des informations sensorielles et motrices encodées lors des épisodes de rencontre avec les objets. Cependant, bien que divers travaux laissent penser que l'acquisition des processus catégoriels repose sur la prise en compte de plusieurs indices, peu de travaux chez l'enfant permettent d'envisager la mise en place et le développement de ce type de réactivation.

Les trois premiers chapitres sont dédiés à une synthèse bibliographique. Dans le Chapitre 1, nous présentons des modèles classiques du développement conceptuel opposant l'utilisation d'indices visuels/perceptifs et fonctionnels/contextuels, chez les bébés et les très jeunes enfants. La première section décrit le point de vue de Nelson, qui propose que les catégories d'objets émergent des interactions de l'enfant avec son environnement. Dans la seconde section, nous détaillons la position de Mandler sur la dissociation entre catégories perceptives précoces et catégories conceptuelles. Finalement, la troisième section détaille les travaux de Quinn et Eimas chez le nouveau né, défendant une acquisition graduelle des connaissances conceptuelles sur la base de la similarité perçue.

Dans le Chapitre 2, la première section permet de souligner l'utilisation de différents processus dans les regroupements taxonomiques. Nous envisageons d'abord une distinction entre domaines d'appartenance des objets pour lui préférer une distinction en termes d'utilisation ou de manipulation des objets. Nous montrons dans la deuxième section que considérer les processus catégoriels comme une aptitude dynamique permet de concilier les apparentes oppositions dans les modèles et les variabilités observées. Nous défendons une perspective globale, différentielle et interactionniste pour interroger la pertinence d'une approche incarnée du développement des capacités catégorielles. Cet exposé nous permet de présenter, dans la troisième section, les propositions et enjeux du cadre théorique, qui chez l'adulte soutiennent la perspective de connaissances conceptuelles incarnées.

Finalement, le Chapitre 3 détaille les travaux qui, chez l'adulte et plus rarement chez l'enfant, attestent de connaissances conceptuelles incarnées. La première section développe les arguments en faveur de l'existence de simulations sensorielles et motrices lors d'activités conceptuelles. La seconde présente des études d'amorçage qui apportent des précisions quant à la nature sensori-motrice des connaissances conceptuelles. Dans la troisième section, nous nous centrons sur les travaux qui soulignent le rôle central de l'action dans la formation et l'utilisation des concepts.

La problématique émergeant de cette synthèse bibliographique nous conduit à présenter une série de sept expériences regroupées dans les Chapitres 4 et 5. Le

premier objectif de ces recherches est d'évaluer la pertinence d'une approche incarnée des concepts chez l'enfant. Les deux premières expériences présentées dans le Chapitre 4 testent l'hypothèse de simulations sensori-motrices. Le Chapitre 5 est composé de cinq expériences utilisant un paradigme d'entraînement/catégorisation qui permet d'évaluer l'impact différencié de deux entraînements sensori-moteurs sur les conduites catégorielles chez les enfants de 5 ans, 7 ans et 9 ans. Finalement, nous terminons ce travail par une synthèse proposant une interprétation des différentes études.

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1. LES MODELES DE DEVELOPPEMENT DES CATEGORIES : LA PRISE EN COMPTE DES INFORMATIONS VISUELLES ET FONCTIONNELLES

Dans ce chapitre nous présenterons certaines des hypothèses qui, classiquement, rendent compte de la mise en place et de l'enrichissement des connaissances conceptuelles chez les très jeunes enfants et les enfants. Chaque modèle sera illustré par les travaux permettant de l'appuyer, nous amenant ainsi à considérer certaines contradictions : des contradictions quant aux mécanismes supposés d'extraction de la similarité et quant à la nature même des connaissances conceptuelles en jeu. Nous présenterons les modèles du plus ancien au plus récent, envisageant d'abord l'acquisition des concepts chez les jeunes enfants telle que développée successivement par Katherine Nelson, puis par Jean Mandler pour finalement nous intéresser aux propositions de Paul Quinn et Peter Eimas pour le tout début du développement. Ces modèles postulent, par exemple, des compétences catégorielles se développant initialement sur la prise en compte soit d'indices fonctionnels/contextuels soit d'indices perceptifs. Nous verrons que certains résultats suggèrent que les deux types d'indices sont utilisés par les enfants.

1. Le développement des catégories chez le jeune enfant : les propositions de Katherine Nelson

Les propositions de Katherine Nelson, formulées dans les années 70 présentent un point de vue original du développement des connaissances chez l'enfant, plaçant les interactions de l'enfant avec le monde qui l'entoure et la découverte des relations fonctionnelles des objets qu'il utilise au cœur du développement conceptuel. Ses premiers travaux ont notamment permis d'appréhender les composantes fonctionnelles des concepts et de les définir comme liées à l'expérience des enfants avec les objets. Sur cette base théorique d'un ancrage des connaissances abstraites dans la perception des événements de la vie quotidienne, elle élabore un modèle de développement hiérarchique des catégories. Si cette structure hiérarchique peut être

remise en cause, il reste néanmoins que la définition d'un cœur fonctionnel des concepts apparaît tout à fait pertinente au regard de travaux plus récents.

1.1. Les relations fonctionnelles émergent des situations d'interaction avec les objets

Pour Nelson (1974), les relations fonctionnelles, issues des expériences vécues par l'enfant guident l'émergence pré-linguistique des concepts et en constituent l'essence même. Cette proposition décrit les liens construits par l'enfant à partir de ses interactions avec les objets (i.e., instances). L'analyse de ces instances permet à l'enfant de définir certains attributs propres aux objets et la synthèse de ces instances d'en construire une représentation conceptuelle. Afin de proposer un modèle développemental cohérent, Nelson (1974) postule que a) l'analyse des instances n'est pas un pré requis à leur synthèse, suggérant ainsi que les enfants puissent catégoriser selon certains principes avant d'identifier des attributs communs et b) les instances sont conceptualisées à partir de leurs relations fonctionnelles et dynamiques, suggérant une définition a priori des concepts ne nécessitant pas d'avoir rencontré plusieurs instances du même objet. La synthèse des relations fonctionnelles sur la base d'une première interaction constitue donc l'essence des concepts¹.

Cette auteure suppose que le jeune enfant (au cours de sa première année) découvre sur la base des explorations perceptives et motrices de son environnement des instances « unifiées » (i.e., le même objet dans différentes configurations temporelles et spatiales) et identifie des relations fonctionnelles entre l'objet, le monde environnant et les individus le composant. De nouvelles instances sont ensuite rattachées à ce concept sur la base de la similarité fonctionnelle entre la synthèse fonctionnelle d'une première interaction et les synthèses des interactions suivantes, permettant à l'enfant d'assigner un nom commun aux différentes instances. Le

¹ « Thus synthesis of the functional relationships of an individual whole is the essence of the concept formation process » (in Nelson, K., 1974. Concept, word, and sentence: Interrelations in acquisition and development.; p. 276)

développement d'un nouveau concept commence donc au moment où l'attention se focalise sur une première instance, au centre des interactions.

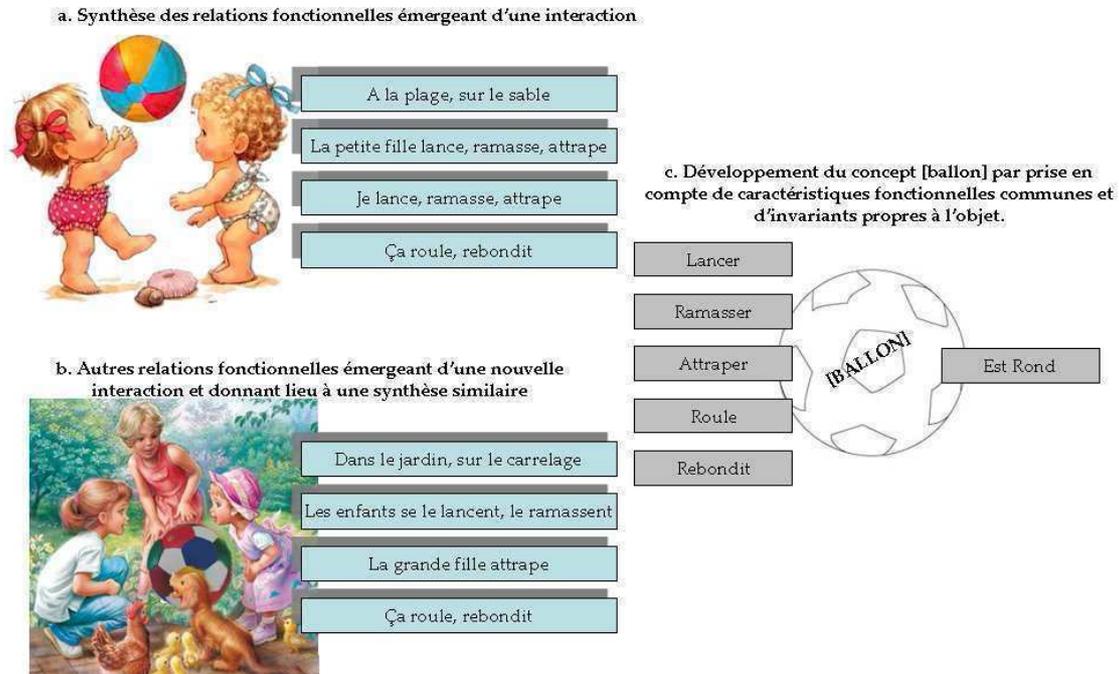


Figure 1: Nelson (1974) propose que les concepts d'objet se développent à partir des interactions de l'enfant avec son environnement. Lors de l'interaction initiale (Fig a), des relations fonctionnelles spécifiques à la situation d'interaction émergent et sont synthétisées. Lorsqu'une nouvelle interaction (Fig b) donne lieu à une synthèse fonctionnelle similaire à la précédente, le concept en développement est défini par la prise en compte de caractéristiques fonctionnelles communes aux différentes interactions et enrichi par la prise en compte d'invariants propres à l'objet, des caractéristiques perceptives non fonctionnelles (Fig c).

Comme le schématise la Figure 1a, ces interactions (par exemple jouer au ballon à la plage avec un camarade) centrées une instance particulière (ici, [Ballon₁] font émerger une synthèse fonctionnelle des actions successives (par exemple : lancer, attraper) et des relations fonctionnelles spatiales (par exemple : à la plage, sur le sable), impliquant différents acteurs (e.g., je – l'enfant, elle – son amie) ou propres à l'objet (e.g., rebondit, roule, de différentes couleurs). Notons qu'à ce niveau, bien que le ballon ne puisse exister en dehors de l'interaction, il en constitue le seul invariant² et est

² Nelson considère la séquence interactive comme variable dans sa configuration spatiale (« j'ai le ballon », « elle a le ballon ») et temporelle (« je » puis « elle »).

identifié comme une instance particulière de l'interaction, c'est donc un objet en voie de conceptualisation. Pour former une représentation conceptuelle du [Ballon₁], l'enfant doit synthétiser les différentes relations fonctionnelles du ballon dans cette interaction. Chaque nouvelle interaction donne lieu à une nouvelle synthèse fonctionnelle (Figure 1b) centrée sur l'instance invariable de la situation d'interaction (ici [Ballon₂]). Lorsque plusieurs synthèses fonctionnelles sont similaires, elles fusionnent. Certaines caractéristiques ne seront plus pertinentes pour le concept du fait de leur trop grande variabilité, comme le lieu de l'activité, la couleur du ballon ou le type d'acteur dans notre exemple, alors que d'autres caractéristiques vont être renforcées et définir le concept (voir Figure 1c) : les actions (e.g., lancer, ramasser, attraper) et les propriétés fonctionnelles du ballon (e.g., roule, rebondit). Ainsi, si toutes les informations pourraient être retenues au départ, elles sont nécessairement remplacées par des attributs plus généraux et plus abstraits que l'enfant identifie sur l'objet en dehors de la situation d'interaction. Le cœur fonctionnel du concept [Ballon₂] s'enrichit donc d'attributs non fonctionnels spécifiques au ballon et invariables à travers les différentes interactions (par exemple sa forme, voir Figure 1c).

Nelson propose que l'enfant généralise alors le nom de l'objet sur la base à la fois de la similarité fonctionnelle et de la similarité visuelle. Notons que la généralisation du nom sur la base de la similarité visuelle uniquement ne peut se faire, d'après Nelson, que parce que cette similarité visuelle constitue un invariant présent dans toutes les interactions et toutes les synthèses fonctionnelles. Au fur et à mesure que la définition du concept devient plus précise et se détache d'une situation d'interaction particulière, l'enfant accède à une certaine abstraction. Les concepts alors formés ne sont ni des images, ni des mots, mais un groupe de relations et de fonctions³. Finalement, ce modèle envisage la formation des concepts de manière dynamique à partir de l'extraction de similarités fonctionnelles perçues au travers d'expériences variées. Ce modèle met également l'accent sur l'importance de considérer l'acquisition

³ It is important to think of the child's concepts as being from the outset abstract wholes, neither words nor images, although capable of being represented in either form. The concept is a dynamic set of functions and relationships. (in Nelson, K., 1974. Concept, word, and sentence: Interrelations in acquisition and development.; p. 279)

du langage comme reflet des structures catégorielles des jeunes enfants, témoignant de l'intention de Nelson de considérer le développement cognitif de l'enfant comme un tout cohérent.

Certains arguments en faveur de ce modèle proviennent d'études montrant que l'acquisition du langage se base sur la prise en compte des relations fonctionnelles entre les objets. Par exemple, certains adverbes (e.g., demain, aujourd'hui, bientôt, hier, maintenant) ne sont utilisés par les enfants que dans des contextes fonctionnels, similaires à ceux dans lesquels leurs parents les utilisent (Levy & Nelson, 1994). De même, l'utilisation non différenciée par les jeunes enfants anglais d'homonymes nom/verbe (e.g., drink en anglais peut référer à un nom - boisson ou à un verbe - boire) semble liée à la similarité fonctionnelle entre ces deux mots lors des interactions, drink-boisson et drink-boire remplissant la même fonction au cours du repas (Nelson, 1995). L'acquisition du langage semble impliquer la prise en compte des similarités fonctionnelles et suggère qu'elles ont un rôle majeur.

En ce qui concerne les comportements catégoriels, deux hypothèses peuvent être considérées (Tomasello, 2002). La première peut être formulée ainsi : si les premières représentations conceptuelles sont centrées sur les relations fonctionnelles issues d'une interaction, c'est-à-dire liées aux événements de rencontre des objets, les enfants devraient montrer certaines difficultés à généraliser les concepts à de nouvelles situations. A notre connaissance, cette hypothèse n'a pas été réellement testée, peut être à cause de la définition peu claire de ce qu'est un événement à ce stade des travaux de Nelson. Elle-même considère que cette hypothèse n'est pas nécessaire au bon fonctionnement du modèle puisque dans certains cas, la synthèse effectuée lors des premières interactions pourrait être vraiment très similaire aux synthèses effectuées ultérieurement, ne posant alors aucun doute à l'enfant quant à la généralisation potentielle du concept à de nouveaux événements (Nelson, 1996, cité par Tomasello, 2002).

La seconde hypothèse concerne le fait que si les relations fonctionnelles constituent l'essence des concepts et permettent de lier les représentations conceptuelles à leurs référents, les jeunes enfants devraient être capables de généraliser

les noms sur la base de la similarité fonctionnelle et non pas de la forme. Les études réalisées par Kemler-Nelson et ses collaborateurs (Kemler Nelson, 1995; Kemler Nelson, Frankenfield, Morris, & Blair, 2000; Kemler Nelson, O'Neil, & Asher, 2008; Kemler Nelson, Russell, Duke, & Jones, 2000) montrent justement que dès l'âge de 2 ans, les enfants généralisent le nom sur la base de la similarité fonctionnelle perçue. Dans une de ces études (Kemler Nelson, Russell et al., 2000), les enfants doivent d'abord apprendre le nom de 4 objets inconnus ayant une fonction particulière, démontrée par l'expérimentateur et expérimentée par l'enfant (voir Figure 2a). Dans une seconde phase, l'enfant manipule deux nouveaux exemplaires et doit attribuer le nom appris à l'un des deux. A chaque essai, un des deux objets évoque la même fonction que l'objet appris, la moitié des paires incluant des objets ayant une apparence similaire à l'objet appris et l'autre moitié des objets ayant une apparence dissimilaire (Figure 2b). Les auteurs réalisent trois expériences afin de pouvoir tester toutes les configurations possibles d'appariement des objets tests.

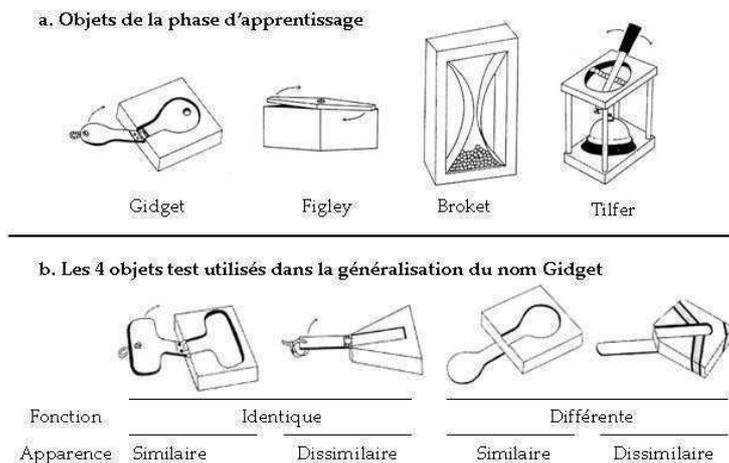


Figure 2 : Illustration du matériel utilisé par Kemler Nelson, Russell, et al. (2000). Les enfants apprennent d'abord la fonction et le nom de nouveaux objets (Fig 2a). Les objets tests (Fig 2b) sont ensuite présentés par paire, l'enfant devant généraliser le nom appris, par exemple « Gidget », à l'un des deux objets.

Les résultats indiquent que dès deux ans, les enfants généralisent le nom à partir de la similarité fonctionnelle perçue, même lorsque que l'objet de même fonction (mais d'apparence différente) est opposé à un objet de même apparence (mais de fonction

différente). Des résultats similaires ont été obtenus avec des enfants de quatre ans (Kemler Nelson, Frankenfield et al., 2000) et des enfants âgés de trois à six ans (Kemler Nelson, 1995). Cela suggère que la similarité fonctionnelle est un indice important permettant de considérer de nouveaux objets comme équivalents⁴. Il est intéressant de noter que, dans ces expériences, les enfants voient l'expérimentateur manipuler les objets et sont eux-mêmes invités à le faire. En accord avec la position de Nelson sur l'essence fonctionnelle des concepts, la phase d'apprentissage constituerait une situation d'interaction permettant aux enfants de percevoir les relations fonctionnelles définissant l'objet. L'enfant se baserait sur cette essence fonctionnelle pour généraliser le nom à de nouveaux exemplaires. Les études sur le développement du langage et la généralisation du nom selon la similarité fonctionnelle permettent d'appuyer la position théorique de Nelson, à savoir que les concepts sont, au moins en partie, définis par leurs propriétés fonctionnelles.

A ce stade des travaux de Nelson, il reste néanmoins difficile de définir précisément ce qu'est une propriété fonctionnelle. En effet, en proposant qu'un concept soit avant toutes choses un représentant des objets auquel il réfère en lien avec les situations de rencontre, Nelson suppose que les propriétés fonctionnelles sont dérivées des situations d'interaction. Les propriétés fonctionnelles engloberaient donc les schémas d'action motrice, les configurations spatiales et temporelles, les contraintes biomécaniques des objets, les composantes liées à l'utilisation de l'objet, les situations d'interaction sociale, etc. Finalement, l'essence fonctionnelle des concepts n'est définie que par son origine : les situations de rencontre des objets, sans que cette proposition ne soit réellement testée puisque les validations empiriques mettent en avant une influence aussi bien de la similarité de but des actions, des agents de l'action ou des propriétés spatio-temporelles. Cette position reste néanmoins très intéressante car elle permet de placer les situations d'interaction et les actions de l'enfant au centre du processus d'élaboration des connaissances conceptuelles. Notons également que lier le contexte des rencontres passées des objets et l'utilisation actuelle des concepts

⁴ D'autres études, que nous présenterons ultérieurement, ont également montré une utilisation des indices fonctionnels pour catégoriser.

rapproche le point de vue de Nelson des théories de la cognition située et des modèles dynamiques. Les travaux ultérieurs de Nelson lui ont permis de clarifier certaines définitions théoriques en proposant que les interactions soient perçues par l'enfant sous forme de scripts, sorte de squelette contextualisé de l'interaction que l'enfant généraliserait au fur et à mesure de ses expériences, lui permettant ainsi de construire des concepts de plus en plus abstraits.

1.2. La définition des scripts et la hiérarchisation des acquisitions : le rôle du contexte dans l'élaboration de catégories abstraites

A la fin des années 1970 et au cours des années 1980, Nelson développe la notion théorique de script ou schéma événementiel ; elle propose alors un modèle de développement structuraliste, hiérarchisé, des connaissances conceptuelles (Nelson, 1983, 1985). Ainsi, les premières connaissances conceptuelles seraient organisées sous forme de scripts (i.e., représentations schématiques de la structure des événements), liés par des relations spatio-temporelles et causales entre les différents éléments. Développant l'idée que les connaissances se forment à partir des expériences vécues, Nelson propose que ces schémas événementiels soient élaborés à partir des routines de la vie quotidienne, comme par exemple le petit déjeuner (voir Figure 3a). Ces scripts, que l'enfant utiliserait dès 2 ans⁵, sont composés d'éléments divers : personnes (e.g., le père, la mère, l'enfant), objets (e.g., le jus d'orange, le bol, la tartine), actions (e.g., beurrer sa tartine, boire son chocolat au lait). Les premières catégories thématiques (e.g., les objets du petit déjeuner) regroupent donc des objets de toutes sortes, rencontrés et utilisés habituellement dans un même contexte qui se répète. L'organisation catégorielle naissante repose sur la détection de la proximité spatio-temporelle que les objets entretiennent entre eux dans un même schéma événementiel.

⁵ Les tout premiers regroupements se feraient sur la base de la similarité perçue comme le suggèrent certaines études menées chez les bébés (Quinn & Eimas, 1997). Cette similarité pourrait aider à regrouper les objets en catégories taxonomiques du niveau de base (e.g., les jus de fruits), mais serait insuffisante pour les regrouper en une catégorie taxonomique surordonnée (e.g., les boissons). Pour ce faire, l'enfant doit prendre en compte les relations spatio-temporelles et fonctionnelles qui unissent les objets rencontrés dans un même contexte ; ces relations sont alors organisées sous forme de script et observables dès deux ans.

Au fur et à mesure, les expériences de l'enfant se diversifient et par conséquent, ses scripts se multiplient et s'enrichissent. Vers 4 – 5 ans, l'enfant découvrirait ainsi que certains objets peuvent se substituer les uns aux autres au sein d'un même script car ils remplissent la même fonction (e.g., la tasse est substituable au bol, le lait au café). Il accéderait alors aux catégories « slot-filler » ou taxonomiques contextualisées, constituées d'éléments de même sorte rencontrés dans le même contexte (voir Figure 3b). Un troisième niveau d'abstraction permettrait à l'enfant (vers 7 – 8 ans) de percevoir des similarités fonctionnelles entre plusieurs objets des catégories « slot-filler » (e.g., le café et le lait du petit déjeuner pourront être regroupés avec l'eau gazeuse ou le soda du repas). Il accéderait alors aux catégories surordonnées, indépendantes du contexte de rencontre (e.g., les boissons) (voir Figure 3c).

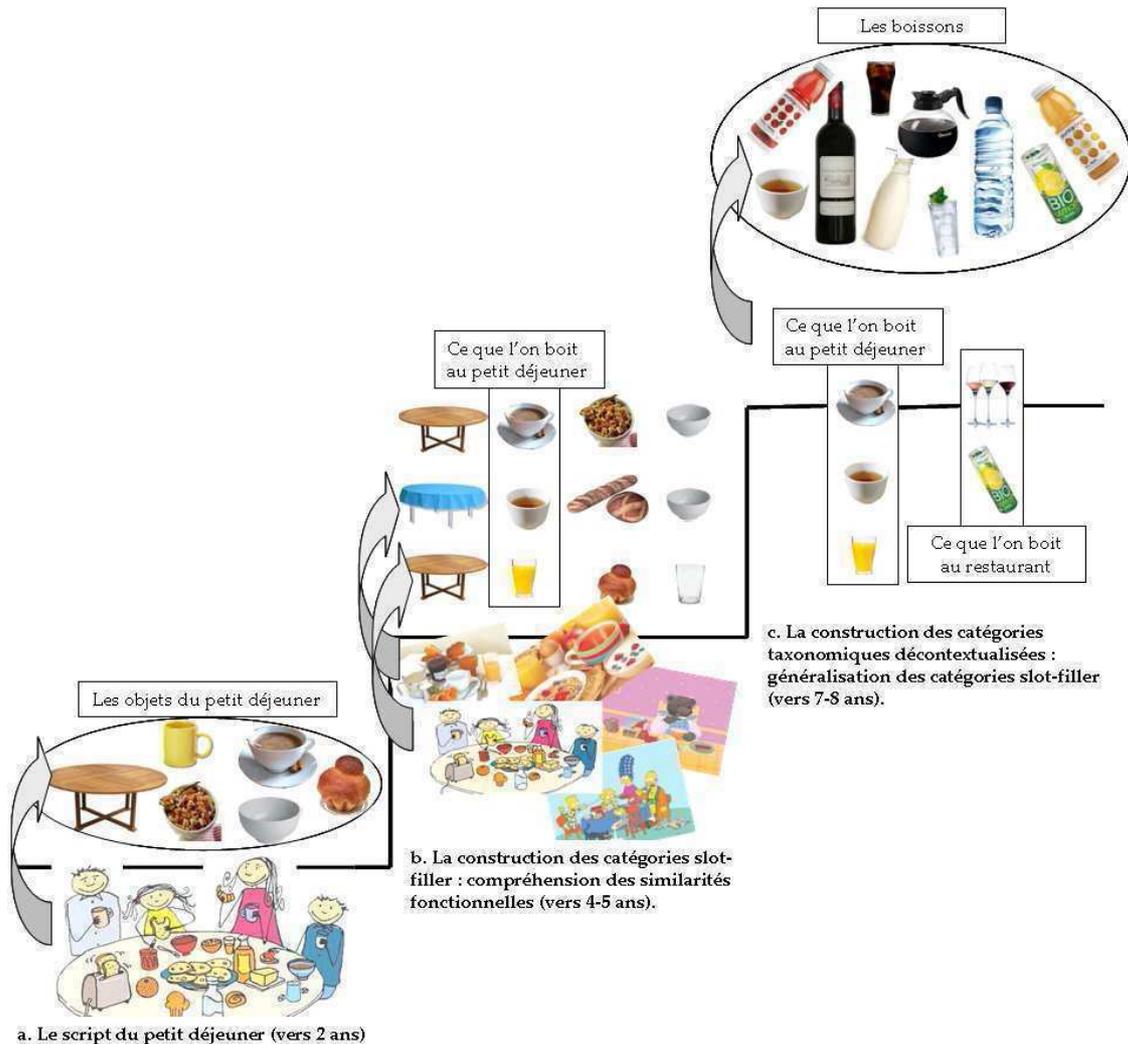


Figure 3 : Illustration de l'acquisition des connaissances conceptuelles taxonomiques selon le modèle de Nelson (1983, 1985) : de l'expérience du petit déjeuner à la catégorie des boissons. Fig 3a : Les scripts sont élaborés à partir d'expériences de la vie quotidienne ; ils incluent des éléments divers regroupés sur la base de leur proximité spatio-temporelle dans un même contexte. Fig 3b : Au fur et à mesure de ses expériences, l'enfant comprend que certains objets remplissent la même fonction et sont substituables les uns aux autres : ils sont alors regroupés en catégories slot-filler. Fig 3c : Finalement, l'enfant perçoit des similarités fonctionnelles entre différentes catégories slot-filler par exemple, ce que l'on boit au petit déjeuner et ce que l'on boit au repas. Cette généralisation est à l'origine des catégories taxonomiques décontextualisées, les boissons par exemple.

Dans ce modèle, les contextes de rencontre et les interactions avec les objets constituent le point de départ du développement des connaissances conceptuelles en permettant à l'enfant de dégager des scripts fonctionnels et spatio-temporels. Ce sont ces scripts qui, généralisés, permettent à l'enfant d'élaborer des connaissances

conceptuelles taxonomiques détachées du contexte d'apparition des objets. Ce modèle met ainsi une distance entre les situations de rencontre des objets et la création du concept correspondant (i.e., processus d'abstraction progressive) et ce, dès l'analyse de la situation d'interaction elle-même⁶. Par ailleurs, on distingue classiquement les connaissances taxonomiques selon le niveau catégoriel auquel elles réfèrent, le niveau de base ou le niveau surordonné. Les catégories taxonomiques surordonnées étant caractérisées par la grande variabilité des exemplaires les composant (e.g., Rosch & Mervis, 1975), on comprend aisément que les enfants s'appuient sur des caractéristiques fonctionnelles ou spatio-temporelles pour faire ce type de regroupement. Par contre, comme les catégories de niveau de base présentant une plus grande homogénéité, notamment de forme, de leurs exemplaires (e.g., Rosch & Mervis, 1975), il est peu probable que les enfants ignorent la similarité perceptive lorsqu'ils catégorisent au niveau de base. Nelson, dans une tentative d'intégration, propose que la proximité spatio-temporelle dérivée des scripts permette à l'enfant d'acquérir les catégories taxonomiques surordonnées (e.g., les chiens, les chats et les oiseaux sont des animaux) alors que les catégories du niveau de base se construiraient par prise en compte conjointe des proximités spatio-temporelles et des similarités perceptives.

Les travaux démontrant l'existence des catégories slot-filler (e.g., Lucariello, Kyrtziz, & Nelson, 1992; Lucariello & Nelson, 1985), clé de voûte théorique entre les regroupements contextuels (dérivés des événements de la vie quotidienne) et les catégories taxonomiques (abstraites de leur contexte d'origine), constituent de forts arguments. Postulant qu'une tâche de rappel reflète l'organisation en mémoire des connaissances conceptuelles, Lucariello et Nelson (1985) proposent à 50 enfants de 4 ans de mémoriser une liste de 3 triplets de mots, organisée soit de manière taxonomique (e.g., L1 : pantalon, manteau, pyjama ; tartine, frites, fromage ; éléphant, chien, vache), soit de manière slot-filler (e.g., L2 : pantalon, chaussette, chemise ;

⁶ L'abstraction progressive qui détache les concepts de leur contexte de rencontre et la hiérarchie des acquisitions (catégories sous forme de scripts, puis slot-filler, puis décontextualisées) rapproche ce modèle du modèle constructiviste de Piaget (e.g., Piaget, 1952).

tartine, chocolat, confiture ; éléphant, lion, tigre). Pour chacune des listes, les enfants peuvent être soumis soit à une tâche de rappel libre, soit à une tâche de rappel indicé par le nom de la catégorie taxonomique (pour L1 et L2), ou par le nom de la catégorie slot-filler (pour L2 uniquement)⁷. Conformément aux hypothèses des auteurs, les performances de rappel de la liste slot-filler (L2) sont supérieures à celles de la liste taxonomique (L1). Afin de préciser ces conclusions, les auteurs proposent aux enfants de mémoriser une troisième liste, thématique (c'est-à-dire composée d'objets de diverses catégories surordonnées appartenant au même schéma ou script ; e.g., L3 : pantalon, placard, cintre ; sandwich, tasse, assiette ; éléphant, cacahuète, cage). L'analyse des performances en rappel libre confirme une facilitation de traitement de la liste slot-filler par rapport à la liste taxonomique et à la liste thématique. Ainsi, si l'on admet que la congruence entre l'organisation d'une liste de mots et l'organisation de la mémoire favorise les performances en rappel, les connaissances des enfants de 4 ans semblent plutôt organisées sous forme de catégories slot-filler que sous forme de scripts (liste thématique) ou de catégories taxonomiques décontextualisées.

Dans une autre étude (Lucariello et al., 1992 , Expérience 3), des enfants de 4 et 7 ans passent une épreuve de catégorisation en choix forcé, dans laquelle ils doivent choisir, parmi deux images, celle « qui va le mieux » avec une image cible. Les images de choix peuvent appartenir à la même catégorie taxonomique surordonnée que la cible (e.g., chat – éléphant), à la même catégorie thématique (chien – os), ou à la même catégorie slot-filler (e.g., coq – vache). L'analyse des choix majoritaires met en évidence une certaine hiérarchie dans les préférences des enfants : aux deux âges, les enfants choisissent plus souvent l'associé thématique, puis l'associé slot-filler et finalement l'associé taxonomique surordonné. Toutefois, les choix slot-filler dépendent du type d'associé présent dans la paire. Les choix slot-filler sont majoritaires lorsque le choix

⁷ Dans cette expérience, chaque enfant ne passe qu'une des 5 conditions de rappel (à savoir L1 libre, L1 indicé taxonomique, L2 libre, L2 indicé taxonomique, L2 indicé slot-filler). Deux analyses statistiques sont ensuite réalisées, l'une prend en compte les facteurs inter-sujets liste (L1 ; L2) et type de rappel (libre ; indicé taxonomique) et l'autre prend en compte le facteur inter-sujets condition (L1 libre, L1 indicé taxonomique, L2 libre, L2 indicé taxonomique, L2 indicé slot-filler). Notons que l'analyse du facteur condition implique un plan expérimental ambigu dans lequel l'effet de l'indication se confond avec l'effet du facteur liste. Nous ne rapportons ici que les résultats de la première analyse.

alternatif est un associé taxonomique décontextualisé mais pas un associé thématique. Les liens contextuels (régissant à la fois les associations slot-filler et les associations thématiques) sont donc des indices pertinents pour les enfants.

Nous regretterons néanmoins que les expériences réalisées ne permettent de tester ni l'aspect abstraitif des connaissances taxonomiques décontextualisées, ni l'influence d'un autre type de relations sur la construction des catégories taxonomiques. En effet, les propositions de Nelson laissent supposer que la similarité perceptive est utilisée comme indice catégoriel des regroupements au niveau de base alors que les relations spatio-temporelles seraient utilisées pour regrouper les objets au niveau surordonné. Certains arguments peuvent être avancés à partir des travaux réalisés par Nguyen (2007). Dès deux ans, les enfants identifient les relations thématiques (e.g., les objets de l'école) et sont également capables, dans une moindre mesure, d'identifier des relations taxonomiques surordonnées (e.g., les vêtements). Cette étude suggère donc une coexistence de processus permettant la prise en compte des relations thématiques et taxonomiques et non pas une organisation hiérarchique de ces deux modes de catégorisation⁸. Les résultats rapportés révèlent cependant l'importance du contexte et des relations spatio-temporelles dans les activités catégorielles des enfants, qu'elles soient évaluées directement par des tâches catégorielles ou plus implicitement. Ils permettent d'envisager, comme suggéré par Nelson, que les concepts puissent être construits à partir des schémas d'événements et de la découverte des relations spatio-temporelles et d'équivalences fonctionnelles entre les objets.

2. La position de Mandler : l'origine des compétences conceptuelles, savoir ce qu'est un objet

La position initialement défendue par Mandler (1988, 1992) présente certaines similitudes avec le modèle hiérarchique de Nelson (voir section 1, ce chapitre). Les

⁸ Nous présenterons plus en détail au chapitre 2, les études permettant d'envisager une coexistence de différentes relations catégorielles.

deux modèles postulent qu'une acquisition hiérarchique des concepts et un processus d'abstraction permettent aux enfants d'accéder aux représentations conceptuelles. De plus, d'après Mandler, les aspects fonctionnels des objets sont pris en compte par une analyse consciente des schémas d'occurrence des objets, ce qui n'est pas sans rappeler la notion de script développée par Nelson. Par contre, Mandler s'intéresse au développement des connaissances chez les bébés et suggère qu'il existe deux types de catégorisation, l'une perceptive, disponible et observable très précocement (aux alentours de 3- 4 mois) et l'autre conceptuelle, disponible et observable dès 7 mois.

2.1. « Seeing is not the same as thinking »⁹ : la dissociation entre catégories perceptives précoces et catégories conceptuelles (Mandler, 1988, 1992, 1999, 2000a)

Dans ses premiers articles, Mandler (1988, 1992), propose que les capacités précoces des bébés de 3-4 mois à catégoriser au niveau de base précèdent les capacités catégorielles à proprement parler. Pour cette auteure, les comportements catégoriels précoces seraient purement perceptifs, résultat d'une exposition répétée à des stimuli visuels très ressemblants (e.g., présentation successive de photographies de chiens) contrastant avec la présentation inattendue d'un stimulus d'une autre catégorie, moins similaire (e.g., présentation d'une photographie de chat). En d'autres termes, ces premiers regroupements ne reflètent que la capacité automatique des bébés à prendre en compte la similarité visuelle entre les différents items. Les informations perceptives seraient stockées sous forme de schéma perceptif, facilement évocable et particulièrement utile pour catégoriser au niveau de base ou réaliser des tâches d'identification/ reconnaissance.

A contrario, les « vrais » concepts sont ceux qui permettent aux jeunes enfants comme aux adultes l'instanciation des choses environnantes et la formulation de leur rôle (voir, pour un point de vue similaire, les positions essentialistes, e.g., Gelman & Wellman, 1991). Le processus sous-jacent à la construction de ce système

⁹ Mandler, J. M. (1999). Seeing Is Not the Same as Thinking: Commentary on "Making Sense of Infant Categorization". *Developmental Review*, 19(2), 297-306.

représentationnel efficient et accessible doit se baser sur une analyse attentive, consciente de ce qui est en train d'être perçu et doit permettre d'appréhender le sens des choses et des objets (Mandler, 2000a). Ainsi, un concept se doit de comporter des éléments fonctionnels renvoyant aux aspects d'utilisation des objets qu'ils représentent. Les catégories s'élaborent donc sur l'analyse attentive du rôle des objets dans un événement ou de ce que l'on fait avec¹⁰. De ce type de capacité que Mandler nomme la catégorisation conceptuelle, émergent des catégories abstraites mais étendues, impliquant la prise en compte des relations fonctionnelles. Ces relations sont d'abord analysées perceptivement puis stockées sous forme de « schéma conceptuel » s'appliquant d'abord à divers objets, puis se spécifiant. Mandler suggère ainsi que la catégorisation conceptuelle apparaît (ou du moins peut être étudiée) plus tardivement que la catégorisation perceptive, aux alentours de 7 mois. La Figure 4 illustre la dissociation proposée par Mandler.

¹⁰ L'argumentaire de Mandler sur la prise en compte des relations fonctionnelles présente certaines similarités avec la notion de script (Nelson, 1985). Néanmoins, le processus d'élaboration des caractéristiques fonctionnelles proposé par Mandler diffère de la dérivation à partir des scripts envisagée par Nelson.

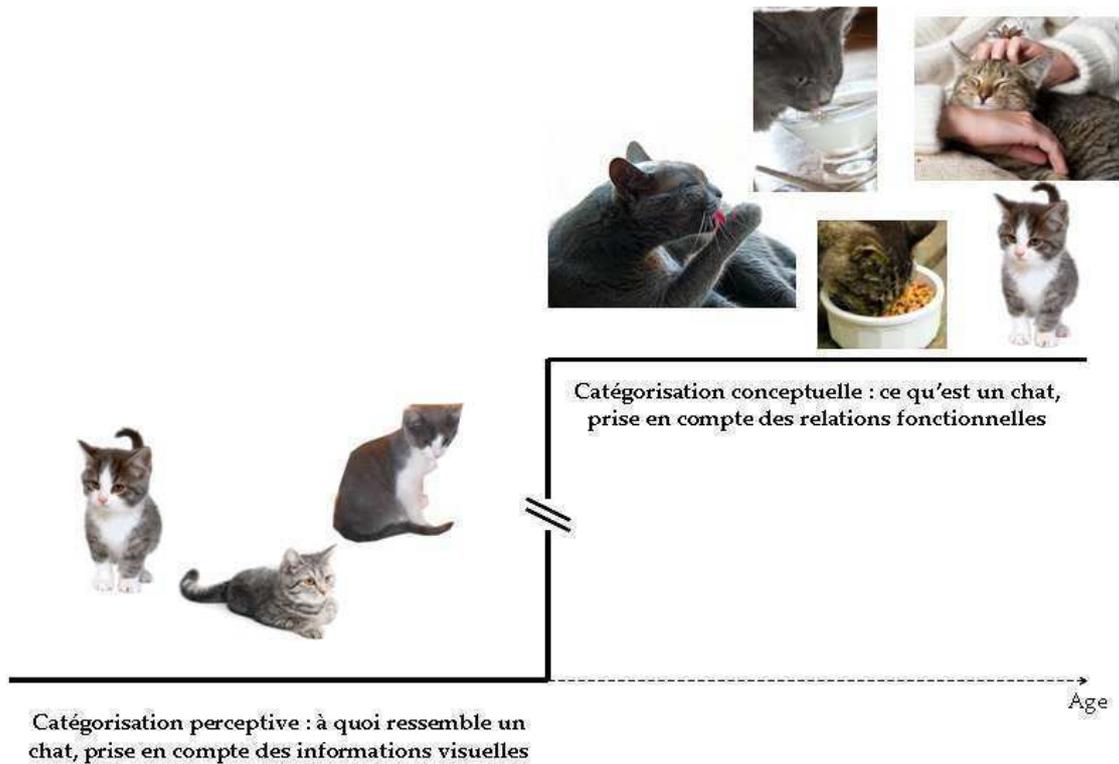


Figure 4 : Illustration du modèle de Mandler (e.g., Mandler, 2000), supposant un développement discontinu des catégories, impliquant des représentations perceptives précoces, résultat d'un processus automatique d'extraction de similarité, et des catégories conceptuelles plus tardives, plus élaborées et plus abstraites, reposant sur la prise en compte et l'utilisation de propriétés fonctionnelles des objets.

Les catégories conceptuelles se construiraient à partir de la perception des schémas d'événements et consisteraient à la fois en une prise en compte des relations et du rôle de l'objet dans son environnement, ce qui la rapproche des positions de Nelson (voir Nelson, 2000, pour une discussion à ce sujet) et à une retranscription abstraite des schémas perceptifs construits lors de la catégorisation perceptive précoce (Mandler, 2000)¹¹.

¹¹ A ce point de l'argumentaire de Mandler, il paraît difficile d'étayer sa position compte tenu de la circularité de son argumentation ; elle explique que le mécanisme de retranscription implique la nature abstraite des catégories, conceptuelles et que leur nature abstraite nécessite la mise en place d'un mécanisme de retranscription. Aucun résultat ne venant étayer cette proposition, nous nous contentons ici de constater cette singulière circularité.

2.2. Tester l'émergence conceptuelle chez les très jeunes enfants : hypothèses et méthodologie

A partir des propositions de Mandler, nous pouvons établir trois hypothèses principales quant au développement et à la nature des comportements catégoriels des très jeunes enfants, toutes trois liées à l'assertion qu'il existe deux types de catégorisation¹². La première concerne l'acquisition plus tardive de la catégorisation dite conceptuelle que de la catégorisation dite perceptive. La seconde concerne la nature des représentations : puisque la catégorisation conceptuelle est supposée permettre l'élaboration de ce qu'est un objet, elle devrait prendre en compte les caractéristiques intrinsèques des objets (et pas uniquement leurs caractéristiques visuelles) centrées sur les rôles fonctionnels des objets au sein des schémas de rencontre. Finalement, la nature même des représentations conceptuelles implique la formation de catégories larges et étendues. Par exemple, la caractéristique « peut manger » qui entre dans la définition du concept chat s'applique certes à tous les chats, mais aussi plus largement au domaine des êtres vivants. Ainsi, si les bébés peuvent très précocement percevoir comme équivalents des objets de niveau de base du fait de leur ressemblance perceptive, ils devraient appréhender plus tardivement les catégories conceptuelles, d'abord à un niveau global¹³, puis à des niveaux de plus en plus spécifiques.

Afin d'argumenter en faveur d'une rupture entre catégorisation perceptive et catégorisation conceptuelle, Mandler et ses collaborateurs utilisent une tâche d'exploration manuelle (e.g., Mandler & McDonough, 1993) au cours de laquelle les bébés manipulent un à un de petits objets. Pour Mandler (2000b), l'utilisation de figurines d'objet plutôt que d'images permet de maximiser la possibilité de prendre en

¹² Notons toutefois que le modèle de Mandler n'a pas été formulé a priori tel que présenté ici, mais plutôt a posteriori, suite à ses premiers résultats (Mandler & Bauer, 1988). Néanmoins, la réplification ultérieure des études et la mise en place d'épreuves spécifiques a priori (et non a posteriori) permettent de considérer, d'un point de vue épistémologique, les hypothèses décrites comme recevables.

¹³ Selon les études, la notion de globalité peut faire référence à une distinction au niveau surordonné inter-domaine (e.g., les véhicules, objets fabriqués vs les animaux, objets vivants, Mandler & Bauer, 1988) ou au niveau surordonné intra-domaine (e.g., les véhicules vs les meubles, objets fabriqués uniquement, Mandler & McDonough, 1998a).

compte les aspects fonctionnels des objets à catégoriser et donc d'évaluer les aspects conceptuels et non perceptifs des représentations catégorielles. Dans cette procédure, les objets proposés dans une première phase de familiarisation représentent différents exemplaires d'une même catégorie. Les bébés sont ensuite testés sur deux nouveaux exemplaires, le premier appartenant à la catégorie familiarisée et le second à une nouvelle catégorie. A chaque essai, le temps d'exploration manuelle est enregistré. On considère que les bébés ont construit une représentation catégorielle des objets présentés dans la phase de familiarisation lorsque le temps d'exploration du nouvel objet de la nouvelle catégorie est supérieur au temps d'exploration du nouvel objet de la catégorie familière¹⁴. En comparant l'utilisation, dans la phase de familiarisation, d'exemplaires de niveau surordonné (e.g., 4 animaux très différents ou 4 véhicules très différents) ou d'exemplaires de niveau de base (e.g., 4 poissons ou 4 voitures), les auteurs ont montré que, de 7 à 11 mois, les bébés sont capables de construire des représentations catégorielles au niveau surordonné (animaux *vs.* véhicules) (Mandler & McDonough, 1998a). Par contre, si les bébés de 9 mois sont capables de former une représentation catégorielle de meubles qui exclut les animaux et les véhicules, ce n'est qu'à partir de 11 mois qu'ils opèrent des distinctions au sein même de cette catégorie (e.g., former une représentation catégorielle des lits excluant les chaises, les tables...) (Mandler & McDonough, 1998a). Ainsi les capacités des bébés apparaîtraient d'abord à un niveau global, puis au niveau de base. Mandler argumente que si, à partir de 7 mois, les enfants échouent à catégoriser au niveau de base alors que certaines études attestent de cette capacité dès l'âge de 3-4 mois, c'est que la nature des représentations catégorielles observées diffère entre 3-4 mois et 7-9 mois.

Cette hiérarchie d'acquisition a également été mise en évidence chez les bébés de 12, 15 et 20 mois à l'aide de la procédure de toucher séquentiel (e.g., Bauer, Dow, & Hertsgaard, 1995; e.g., Mandler & Bauer, 1988) et de la procédure d'imitation généralisée (Mandler & McDonough, 1996, 1998b, 2000). La procédure d'imitation généralisée consiste à mimer une action avec une figurine (e.g., faire boire un chien) et

¹⁴ Notons que l'objet est considéré comme exploré lorsqu'il est manipulé sous contrôle visuel.

d'observer, dans une seconde phase, comment l'enfant généralise l'action à une nouvelle figurine parmi deux (e.g., un chat – objet de même catégorie ou un avion - objet d'une autre catégorie)¹⁵. L'hypothèse catégorielle sous-jacente suppose que les imitations vont être dirigées par ce que l'enfant connaît du concept, révélant les propriétés qui, selon lui, sont associées à ce concept (Mandler, 2008). Ce paradigme permet ainsi d'évaluer l'étendue des représentations catégorielles conceptuelles de l'enfant (Mandler & McDonough, 2000). Les résultats indiquent qu'à 14 mois, les imitations des enfants (e.g., mettre un oiseau dans un nid) s'étendent à tous les exemplaires de la catégorie surordonnée, même si l'imitation est inappropriée (e.g., mettre un lapin dans un nid) et ce, quel que soit le domaine d'appartenance des objets (Mandler & McDonough, 1996, 2000). En d'autres termes, à 14 mois, les jeunes enfants ne catégorisent pas les animaux au niveau de base.

De plus, le constat d'une généralisation intra-domaine des actions spécifiques (i.e., l'action de faire boire un chien n'est généralisée qu'aux animaux) et d'une généralisation inter-domaine des actions non spécifiques (i.e., l'action de laver un chien est généralisée aux autres animaux et aux véhicules) suggère que les comportements des enfants ne sont pas dirigés par la similarité intra-domaine puisque les mêmes objets sont utilisés dans les deux cas (Mandler & McDonough, 1998b). Au contraire, il semble que les très jeunes enfants prennent en compte les propriétés fonctionnelles intrinsèques des objets qui pourraient être issues des schémas d'événements (voir également, Rakison, Cicchino, & Hahn, 2007). La multiplicité des paradigmes utilisés (i.e., examen d'objets, toucher séquentiel, et imitation généralisée) et l'homogénéité des résultats obtenus (i.e., regroupement catégoriel plus précocement et/ou plus souvent réalisé au niveau surordonné qu'au niveau de base) appuient les positions de Mandler. Si l'on admet son argumentaire, il semble que la nature des catégories diffère selon les tâches utilisées. Lorsque les tâches ne nécessitent pas d'appréhender ce qu'est un concept, les bébés seraient tout à fait capables de réaliser des regroupements de niveau

¹⁵ Notons que la similarité perceptive est contrôlée en présentant dans la phase de choix des objets similaires et dissimilaires. Par exemple, pour une démonstration avec un chien, les choix opposent selon les essais, une voiture (objet d'une autre catégorie) à un chat (objet de même catégorie similaire) ou une voiture (objet d'une autre catégorie) à un lapin (objet de même catégorie dissimilaire).

de base à partir de la similarité perçue. En revanche, dès lors que les tâches le requièrent, les jeunes enfants opéreraient des distinctions d'abord globales, qui se spécifieraient peu à peu.

De nombreux auteurs trouvent pertinent de considérer les aspects fonctionnels des différents processus catégoriels (e.g., Carey, 2000; E. J. Gibson, 2000; Nelson, 2004; Reznick, 2000). Nelson, qui comme nous l'avons vu précédemment, suppose que toutes les informations sont également prises en compte dès lors qu'elles co-occurrent dans le contexte de rencontre des objets, relativise la nécessaire retranscription abstraite entre catégorisation perceptive et catégorisation conceptuelle pointant une des « failles » du modèle de Mandler. De plus, les recherches chez les jeunes bébés tendent à montrer une disponibilité des catégories conceptuelles (e.g., Arterberry & Bornstein, 2002b) et un développement des connaissances dites perceptives du global vers le spécifique¹⁶ précoce. D'un point de vue développemental, les détracteurs de Mandler argumentent principalement que les connaissances conceptuelles sont d'abord de nature perceptive et s'étoffent au fur et à mesure que les compétences du bébé s'accroissent, ce que les résultats obtenus par Mandler ne peuvent remettre en cause (e.g., E. J. Gibson, 2000; Quinn & Johnson, 2000). Néanmoins, les positions théoriques de Mandler et ses nombreux résultats ont favorisé les études sur les comportements catégoriels des très jeunes enfants, poussant les auteurs à essayer de comprendre et d'explicitier plus précisément les mécanismes à l'origine des capacités catégorielles.

3. Des catégories perceptives qui s'accroissent graduellement, la proposition de Quinn et Eimas

Les travaux de Quinn et Eimas chez les très jeunes bébés (3-4 mois), qui montrent des capacités catégorielles perceptives précoces, sont souvent cités en opposition à l'argumentaire théorique de Mandler. A partir de leurs résultats, ces auteurs ont suggéré une acquisition graduelle et continue des connaissances, des catégories

¹⁶ Ce point sera abordé lors de la présentation du modèle de Quinn et Eimas, ci après section 3.

perceptives¹⁷ aux catégories taxonomiques. En parallèle de cette évolution, leurs différents résultats révèlent que les premiers regroupements perceptifs se feraient à un niveau global et se spécifieraient au fur et à mesure. Les différents travaux menés dans ce contexte permettent d'appréhender les mécanismes de regroupement et de différenciation des exemplaires.

3.1. Des catégories perceptives précoces à l'inclusion de caractéristiques sémantiques et linguistiques : l'hypothèse d'un développement continu de catégories de plus en plus exclusives

Une des premières hypothèses défendue par Quinn, Eimas et leurs collaborateurs concerne la précocité de la prise en compte des informations visuelles dans l'acquisition des connaissances catégorielles (Quinn, 2000). La procédure de familiarisation/réaction à la nouveauté couplée à un paradigme de comparaison par paires permet de tester si les jeunes bébés considèrent comme équivalentes des images d'objet visuellement similaire présentées successivement. En effet, si les bébés construisent (durant la phase de familiarisation) une représentation catégorielle de différents exemplaires de même catégorie (e.g., des images de différents chats), cette représentation catégorielle devrait inclure d'autres exemplaires de la même catégorie (e.g., un nouveau chat) mais exclure ceux d'une autre catégorie (e.g., un chien). En admettant l'hypothèse de réaction à la nouveauté, un temps de regard plus long sur l'exemplaire d'une nouvelle catégorie (e.g., un chien) que sur un nouvel exemplaire de la catégorie de familiarisation (e.g., un nouveau chat) démontre une capacité à construire des représentations catégorielles.

Les travaux princeps ont démontré que dès 3-4 mois, les bébés sont capables de construire des représentations catégorielles au niveau de base¹⁸, de chats et de chiens

¹⁷ Bien que les travaux rapportés dans cette section mettent en jeu des capacités catégorielles visuelles, nous utiliserons les termes catégories perceptives et capacités catégorielles perceptives, traduction en français des termes « perceptual categories » et « perceptual categorization » utilisés par Quinn, Eimas et leurs collaborateurs.

¹⁸ Utiliser des exemplaires au niveau de base permet de favoriser la prise en compte de la similarité visuelle puisqu'il existe plus de similarité entre des exemplaires de niveau de base qu'entre des exemplaires de niveau surordonné (Rosch & Mervis, 1975).

qui excluent les oiseaux, mais aussi de chats qui excluent les chiens et de chiens qui excluent les chats (Quinn, Eimas, & Rosenkranzt, 1993). Ces résultats ont été généralisés à diverses catégories du niveau de base impliquant des animaux (e.g., Eimas & Quinn, 1994; Quinn et al., 1993; Quinn, Eimas, & Tarr, 2001) et des meubles (Behl-Chadha, 1996 Exp.1 et Exp.2). Ainsi, les mécanismes perceptifs sous jacents aux performances catégorielles précoces ne sont pas spécifiques à un domaine particulier mais semblent plutôt des mécanismes généraux d'acquisition des connaissances. On retrouve d'ailleurs des capacités catégorielles perceptives au niveau surordonné : les bébés sont capables de construire des représentations catégorielles de mammifères qui excluent les meubles, les poissons, les oiseaux et des représentations catégorielles de meubles qui excluent les véhicules et les mammifères (Behl-Chadha, 1996; Quinn & Johnson, 2000).

Toutes ces expériences sont rigoureusement contrôlées, les auteurs s'assurant par exemple que l'augmentation du temps de regard sur l'exemplaire de la nouvelle catégorie n'est pas liée à une préférence spontanée des bébés pour cet exemplaire (e.g., Eimas & Quinn, 1994, Exp. 3) ou à une absence de discrimination des exemplaires présentés durant la phase de familiarisation (e.g., Eimas & Quinn, 1994, Exp. 2). Ainsi, entre 2 et 8 mois, la simple exposition à des stimuli visuels entraînerait la construction de regroupements correspondant à des catégories (voir également Arterberry & Bornstein, 2002a). Compte tenu de leur âge, les performances des bébés ne reflètent sûrement pas l'utilisation de connaissances préalables mais plutôt leur capacité à construire des catégories sur la base de la similarité perçue au cours de la phase de familiarisation (Quinn, 2008). La réplication des résultats au niveau de base et au niveau surordonné avec diverses méthodologies telles que l'analyse des mouvements oculaires (Quinn, Doran, Reiss, & Hoffman, 2009) ou du signal électro-encéphalographique (Quinn, Doran, Reiss, & Hoffman, 2010; Quinn, Westerlund, & Nelson, 2006) et leur simulation par des modélisations connexionnistes (Quinn & Johnson, 1997, 2000) appuient empiriquement l'hypothèse d'une catégorisation perceptive précoce. Outre l'hypothèse d'une construction des catégories perceptives au cours de l'expérimentation la position théorique défendue par Quinn et Eimas

s'articule autour de deux autres points : la manière dont ces catégories perceptives précoces s'étoffent de caractéristiques autres que visuelles et dont elles évoluent des catégories globales aux catégories de niveau de base puis de niveau sous-ordonné.

Eimas (1994) propose que les connaissances émergent d'un processus d'analyse visuelle des objets présentés, fonctionnel dès la naissance et présent tout au long de la vie. Ce processus permettrait dans un premier temps la formation de représentations perceptives (i.e., premiers regroupements définis à la fois par leur similarité intra-catégorielle et leurs différences inter-catégorielles (Quinn, 2008), puis l'enrichissement de ces représentations par adjonction d'autres caractéristiques (voir également Quinn & Eimas, 1997). Par exemple, le concept de chat serait d'abord défini par l'apparence du chat à laquelle s'ajouteraient progressivement d'autres attributs caractéristiques des chats tels que certains mouvements ou certains sons. Ensuite avec l'expérience grandissante des enfants, d'autres informations langagières et sémantiques (e.g., les chats mangent des croquettes, chassent les souris, etc.) s'imbriqueraient dans les représentations perceptives précoces (e.g., Eimas, 1994; Quinn, 2008).

Cette notion d'association d'informations plus abstraites ou tout au moins concomitantes aux informations perceptives premières peut trouver une validation dans les travaux montrant que les bébés prennent progressivement en compte des informations liant apparence et mouvement des objets (e.g., Rakison, 2006) ou forme et fonction des objets (e.g., Madole, Oakes, & Cohen, 1993) ou encore couleur et fonction (e.g., Wilcox, Woods, & Chapa, 2008). Dans cette optique, l'acquisition des connaissances refléterait plutôt un changement quantitatif, augmentation du nombre d'informations prises en compte, qui serait interprété comme un changement qualitatif quant à la nature des connaissances¹⁹ (e.g., Quinn, 2000, voir également Madole & Oakes, 1999; Rakison & Poulin-Dubois, 2001 pour des points de vue similaires). L'hypothèse d'un développement continu des connaissances s'oppose ainsi très clairement à l'hypothèse d'une rupture entre représentations perceptives et conceptuelles (telle qu'envisagée par Mandler, voir la section 2).

¹⁹ Cette assertion fait référence et s'oppose aux positions de Mandler qui postule un changement qualitatif des catégories perceptives aux catégories conceptuelles.

La mise en évidence d'une hiérarchie d'acquisition des représentations perceptives du global vers le spécifique vient d'ailleurs contrecarrer l'idée selon laquelle les représentations perceptives n'intégreraient que la dimension visuelle des objets et suggère plutôt que celles-ci constituent les bases des catégories des adultes. En effet, les capacités catégorielles apparaissent à 2 mois au niveau global (i.e., capacité à construire des représentations catégorielles de mammifères qui excluent les meubles) (Quinn & Johnson, 2000), à 3-4 mois au niveau de base (e.g., Eimas, Quinn, & Cowan, 1994; Quinn & Eimas, 2000; Quinn et al., 1993; Quinn, Eimas et al., 2001) et vers 6-7 mois au niveau sous-ordonné (Quinn, 2004; Quinn & Tanaka, 2007). Cette exclusivité graduelle des catégories perceptives s'observe également au sein du niveau de base : les représentations perceptives des chats incluent les lionnes à 3-4 mois, mais pas à 6-7 mois (Eimas & Quinn, 1994). De plus, cette évolution du global vers le spécifique pourrait se généraliser à tous types de stimuli dans l'environnement des bébés puisqu'on observe le même pattern développemental avec des figures géométriques (e.g., Quinn, Slater, Brown, & Hayes, 2001). Ainsi, le modèle intégrant au mieux les résultats des différentes expériences, propose un développement des connaissances des catégories globales, au niveau de base, puis au niveau sous-ordonné sur la base de la similarité perçue et s'étoffant progressivement.

3.2. Concilier acquisition graduelle d'un niveau global à un niveau spécifique avec les capacités perceptives des bébés.

Les différentes études mettant en évidence une catégorisation perceptive précoce concluent à une capacité des bébés à percevoir les différents exemplaires de la phase de familiarisation comme formant un tout homogène. Les capacités catégorielles devraient donc apparaître d'abord lorsque les exemplaires présentés ont une très grande similarité intra-catégorielle²⁰ (i.e., au niveau sous-ordonné). Or les résultats attestent d'une capacité catégorielle apparaissant d'abord à un niveau global (Quinn & Johnson,

²⁰ Le niveau sous-ordonné étant classiquement défini par une similarité intra-catégorielle plus forte qu'au niveau de base, défini lui-même par une plus grande similarité qu'au niveau surordonné l'englobant (voir e.g., Rosch & Mervis, 1975; E. E. Smith & Medin, 1981 pour des revues de questions sur l'organisation interne des catégories).

2000). Eimas (1994) suggère que les capacités catégorielles reposent sur l'influence conjointe de la similarité intra-catégorielle et de la distinctivité inter-catégorielle²¹.

En ce qui concerne l'influence de la similarité intra-catégorielle, l'exclusivité d'une représentation catégorielle est inversement corrélée à la variabilité des stimuli de la phase de familiarisation (e.g., Eimas et al., 1994; Quinn et al., 1993, Exp. 4)²², un résultat répliqué par des modélisations connexionnistes (e.g., Mareschal, French, & Quinn, 2000). De plus, les représentations catégorielles de chats excluant des chiens semblent être liées à une analyse des contours de la forme du corps (Quinn & Eimas, 1996; J. Spencer, Quinn, Johnson, & Karmiloff-Smith, 1997), de la tête et du corps ou de la tête uniquement (Quinn, Eimas et al., 2001) ; avec un certain avantage pour la tête (Quinn et al., 2009). L'avantage de certaines parties des images reflète la capacité des bébés à percevoir les caractéristiques communes aux différents exemplaires de la phase de familiarisation ; ces caractéristiques permettant de les distinguer des autres exemplaires²³. En d'autres termes, il y aurait sommation de différents traits perceptifs permettant d'assurer à la fois une cohérence intra-catégorielle et une distinctivité inter-catégorielle.

Une étude (Quinn et al., 2006) mettant en lumière les mécanismes sous-jacents à la construction des représentations catégorielles perceptives à travers l'analyse du signal EEG corrobore cette position. Lors de la phase de familiarisation, l'apprentissage catégoriel semble être caractérisé par l'activation d'une onde négative lente (Negative Slow Wave apparaissant entre 1000 et 1500 ms après l'apparition du stimulus) dont la grande amplitude, caractéristique d'une détection de nouveauté, décroît entre la présentation des premiers et derniers items de la phase de familiarisation. De plus, la

²¹ Les bébés percevraient les exemplaires de la phase de familiarisation comme formant un groupe homogène (e.g., les chats), se distinguant des exemplaires des autres groupes (e.g., les chevaux), en particulier l'exemplaire contrasté en phase test (e.g., un cheval *vs.* un nouveau chat).

²² L'hypothèse du rôle de l'homogénéité/variabilité des exemplaires proposés a été testée à la suite de l'observation de compétences catégorielles asymétriques : dans certains cas les bébés sont capables de former des représentations catégorielles des chats qui excluent les chiens et dans d'autre cas, non (e.g., Quinn, et al. 1993).

²³ En effet dans l'expérience de Quinn et al. (2009), la forme de la tête est commune aux chats uniquement alors que la forme du corps est commune à tous les animaux, chats et chiens. Dans le cas où les corps des animaux apportent suffisamment de distinctivité (e.g., des corps avec des pattes *vs.* des corps sans pattes), les bébés utiliseront les informations relatives au corps pour construire les catégories (Vidic & Haff, 2004).

présentation des derniers items de la phase de familiarisation et du nouvel item de la même catégorie (i.e., nouveau chat) entraîne une activité similaire, suggérant que ce nouvel item est traité comme un item familier. Au contraire, le temps de regard plus long sur l’item d’une nouvelle catégorie (i.e., un chien) s’accompagne d’un pic d’activation d’une composante centrale négative (Negative central component). Des résultats similaires, obtenus avec des stimuli d’oiseaux et de poissons, attestent de cette concomitance entre réaction à la nouveauté lors de la présentation d’un exemplaire d’une nouvelle catégorie et pic d’amplitude de la composante centrale négative (Grossman, Gliga, Johnson, & Mareschal, 2009). Ces deux composantes se retrouvent également lors de la catégorisation au niveau sous-ordonné (Quinn et al., 2010). Dans cette étude (Quinn et al., 2010), la réaction à la nouveauté pour un item d’une nouvelle catégorie s’accompagne d’une activation d’une composante P400 suggérant que la catégorisation au niveau sous-ordonné est gouvernée par un mécanisme additionnel à la catégorisation au niveau de base, mécanisme qui pourrait être effectif plus tardivement au cours du développement. En outre, l’onde lente caractérisant l’inclusion catégorielle au niveau sous-ordonné apparaît 200 ms après celle caractérisant l’inclusion catégorielle au niveau de base²⁴, suggérant une émergence séquentielle des catégories du niveau de base et sous-ordonné. Les représentations catégorielles précoces semblent reposer sur des mécanismes perceptifs exacerbant à la fois la similarité intra-catégorielle (percevoir le nouvel item de la catégorie de familiarisation comme familier) et la distinctivité inter-catégorielle (percevoir le nouvel item d’une nouvelle catégorie comme nouveau).

3.3. Le rôle de l’expertise dans la construction des représentations perceptives précoces

En filigrane du modèle de Quinn et Eimas supposant un développement catégoriel d’un niveau global à un niveau plus spécifique, se profile l’hypothèse d’une

²⁴ Notons néanmoins que l’onde lente associée à la détection de la familiarité présente une polarisation négative dans le cas de la catégorisation au niveau de base et une polarisation positive dans le cas de la catégorisation au niveau sous-ordonné.

expertise grandissante des bébés à catégoriser. Tout d’abord la capacité à regrouper des exemplaires au niveau sous-ordonné (e.g., construire une catégorie de Saint-Bernard qui exclut les Beagles ou une catégorie de chats sauvages qui exclut les chats siamois) semble être facilitée par la réalisation préalable d’une tâche similaire (Quinn & Tanaka, 2007). Les résultats de cette expérience, dont le dispositif est résumé dans le Tableau 1, indiquent que les bébés de 6-7 mois sont capables de construire une première représentation catégorielle au niveau sous-ordonné (e.g., dans la catégorie des chiens, construire une représentation catégorielle de Saint Bernard excluant les Beagles, Phase 1), mais ne sont pas capables de s’extraire de ce premier regroupement pour construire une seconde représentation catégorielle d’une autre catégorie (e.g., sous catégories de chats, Phase 2).

Tableau 1 : Dispositif expérimental utilisé par Tanaka & Quinn (2007) afin de tester le maintien des capacités catégorielles au niveau sous-ordonné (des chats ou des chiens) en fonction de la tâche précédente : catégoriser des stimuli de même catégorie de niveau de base (NB identique) ou d’une autre catégorie de niveau de base (NB différent). Les étoiles * indiquent l’exemplaire le plus regardé. Ainsi, si tous les bébés sont capables de construire des représentations catégorielles au niveau sous-ordonné (Phase 1), il leur semble difficile de s’extraire de ce premier regroupement pour construire d’autres représentations catégorielles de niveau sous-ordonné (Phase 2).

| | Phase 1 | | Phase 2 | |
|---------------|-------------------|---------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Familiarisation | Test | Familiarisation | Test |
| Chats | | | | |
| NB Identique | 12 Chats Sauvages | Nouveau Chat | 12 Chats Siamois | Nouveau Siamois* |
| NB Différent | | Sauvage* vs. Chat Siamois | | 12 Beagles |
| | | | | Nouveau Beagle vs Saint Bernard |
| Chiens | | | | |
| NB Identique | 12 Saint Bernard | Nouveau Saint Bernard* | 12 Beagles | Nouveau Beagle* vs Saint Bernard |
| NB Différent | | vs. Beagle | | 12 Chats Siamois |

Il y aurait donc une influence du type de regroupement sur les indices pris en compte par le bébé pour réaliser la deuxième tâche. Présenter successivement des exemplaires appartenant à deux catégories de niveau de base (e.g., des chiens puis des chats) orienterait les bébés vers la prise en compte de traits perceptifs pertinents pour

opérer des distinctions au niveau de base. Au contraire, la présentation successive d'exemplaires de la même catégorie de niveau de base (e.g., des chiens puis des chiens) orienterait les bébés vers la prise en compte de traits perceptifs pertinents pour opérer des distinctions au niveau sous-ordonné. Ainsi les représentations conceptuelles semblent dépendre de l'expertise des bébés vis-à-vis des stimuli présentés.

La mise en perspective des travaux sur les représentations perceptives d'animaux et d'êtres humains chez les bébés de 3-4 mois permettent d'appréhender de manière différente le rôle de l'expertise. En effet, les représentation d'animaux non humains excluent les humains (e.g., Quinn & Eimas, 1996, 1998; Quinn et al., 1993) mais celles d'humains n'excluent pas les autres animaux (Quinn & Eimas, 1998)²⁵. Cette moindre exclusivité des catégories d'humains suggère soit une incapacité à catégoriser les êtres humains, soit l'émergence d'une catégorie des humains plus large et plus variable incluant tous les animaux. Le fait que, dans leur vie quotidienne, les bébés rencontrent plus d'exemplaires d'humains que d'exemplaires de non-humains pourrait augmenter la flexibilité de la représentation catégorielle²⁶. Ainsi l'expérience avec certains stimuli pourrait moduler les mécanismes perceptifs dédiés à la prise en compte des similarités et différences entre exemplaires.

Avec l'âge, les bébés pourraient appréhender et coordonner différentes informations perceptives, ce qui suggère une évolution d'un processus d'individuation reposant sur la prise en compte de traits perceptifs individuels à un processus de généralisation reposant sur la prise en compte des relations entre ces différents traits perceptifs (e.g., Westermann & Mareschal, 2004). La spécialisation graduelle des catégories pourrait être liée à une prise en compte progressive des cooccurrences entre diverses caractéristiques. Par exemple, la cooccurrence des caractéristiques visuelles des stimuli est utilisée par les bébés âgés de 10 mois mais pas par ceux de 4 mois (e.g.,

²⁵ Ce résultat n'est pas imputable à la variabilité des items puisque les exemplaires d'humains de la phase de familiarisation ne sont pas plus variables entre eux que ne le sont les exemplaires de chevaux ou de chats.

²⁶ Certains auteurs suggèrent que la spécialisation des capacités de discrimination des visages humains soit liée à la multiplication des expériences de vision de visages humains (Pascalis, de Haan, & Nelson, 2002). Cette étude montre que les bébés de 9 mois et les adultes discriminent uniquement les visages humains, alors que les bébés de 6 mois discriminent les visages humains et les faces de primates.

Younger, 1990; Younger & Cohen, 1986), celle entre nom et objet par les bébés de 14 mois mais pas par ceux de 10 mois, et celle entre forme et fonction par les bébés âgés de 18 mois mais pas par ceux de 14 mois (e.g., Madole et al., 1993). Ainsi, les bébés acquerraient progressivement une capacité à compiler différentes caractéristiques de leur environnement. Vu sous l'angle d'une utilisation progressive des cooccurrences entre différentes caractéristiques des objets, le modèle proposé par Quinn et Eimas permet de postuler un seul mécanisme perceptif précoce de formation des catégories venant s'enrichir de caractéristiques fonctionnelles, de connaissances linguistiques et sémantiques, au fur et à mesure des rencontres avec les objets.

4. Des résultats incompatibles avec une approche unitaire du développement des catégories.

Dans l'ensemble, les modèles que nous venons de présenter utilisent des paradigmes différents à différents âges, les rendant difficilement opposables mais également difficilement assimilables. Cependant de nombreux résultats s'opposent à un développement unitaire des catégories. Cette section vise à donner un aperçu de ces études afin d'étayer un point de vue pluraliste de la formation des concepts ; en effet ces études sont trop nombreuses pour en faire un compte rendu exhaustif²⁷.

4.1. La variabilité inter-individuelle dans les comportements catégoriels des enfants.

Les indices fonctionnels et visuels des objets sont utilisés par les enfants dès deux ans, l'utilisation préférentielle de l'un ou l'autre étant contrainte par certaines caractéristiques de la situation. L'observation à un âge donné de comportements catégoriels variables selon les enfants (i.e. certains enfants vont privilégier une relation catégorielle par rapport à une autre) suggère qu'ils ne prennent pas tous en compte les mêmes indices. Les premiers résultats allant dans ce sens le montrent pour les relations taxonomiques et les relations thématiques. Par ailleurs, si plusieurs processus sont

²⁷ De plus ces études testent bien souvent des hypothèses spécifiques sans lien direct avec notre travail.

également disponibles chez tous les enfants, un entraînement préalable à détecter certaines similarités devrait orienter leurs choix catégoriels.

Si peu d'études s'intéressent spécifiquement à la variabilité entre individus, certains résultats peuvent être interprétés en faveur d'une préférence des enfants pour un type de relation. Par exemple, la proportion de choix taxonomiques, thématiques ou perceptifs des enfants en condition sans nom dans les études sur l'étiquetage linguistique pourrait refléter la préférence pour un type de relation. L'analyse des profils individuels, quand elle est faite, le met effectivement en évidence. Par exemple, dans l'expérience d'appariement en choix forcé de Golinkoff et al. (1995), sur 16 enfants de 5 ans, 7 présentent une préférence pour les relations thématiques, 2 pour les relations taxonomiques, 4 pour les relations perceptives. Plusieurs études permettent ainsi de considérer la variabilité interindividuelle comme un facteur à prendre en compte dans l'étude des conduites catégorielles des enfants.

La question des préférences individuelles a été spécifiquement étudiée par Dunham et Dunham (1995) chez les enfants de 3 ans à l'aide d'une procédure d'appariement en choix forcé. Une image cible (e.g., un chien) est présentée avec un associé taxonomique de niveau de base (e.g., un autre chien), un associé thématique (e.g., un os), et un non associé (e.g., un stylo). Les résultats, concordants avec les études précédentes, indiquent un biais taxonomique, les choix taxonomiques étant en moyenne plus nombreux que les choix thématiques. Néanmoins, 1/3 des enfants choisit majoritairement les associés thématiques, les 2/3 restants présentant une préférence pour les associés taxonomiques. De plus, ces préférences sont stables puisque les choix dans une deuxième session réalisée deux semaines plus tard sont corrélés positivement à ceux de la première session. Afin de savoir si ces préférences sont liées à une manière globale d'appréhender les objets, les auteurs ont conduit une étude longitudinale sur 25 enfants à 1 an, 2 ans, et 3 ans. Ils ont étudié les comportements de jeu à 1 an, les comportements langagiers à 2 ans et les comportements catégoriels à 3 ans. Ils distinguent à chaque âge les comportements centrés sur l'identité de l'objet (pointage à 1 an, dénomination à 2 ans, choix taxonomiques à 3 ans) de ceux centrés sur les relations de l'objet (jeu relationnel à 1 an, vocabulaire orienté vers les relations à 2 ans,

choix thématiques à 3 ans). Les résultats indiquent une corrélation moyenne positive entre le nombre de choix taxonomiques à 3 ans et les conduites de jeu et de langage centrées sur l'identité de l'objet. Alternativement, le nombre de choix thématiques est corrélé positivement aux conduites de jeu et de langage centrées sur les relations entre objets²⁸.

Cette étude met en évidence deux points importants. Tout d'abord la coexistence de deux types de profils catégoriels à 3 ans suggère que les relations prises en compte par les enfants dépendent de caractéristiques individuelles ; ensuite ces préférences sont liées à des conduites antérieures. Les antécédents des préférences taxonomiques correspondraient à un intérêt particulier pour l'identité des objets alors que les antécédents des préférences thématiques correspondraient à un intérêt particulier pour les relations entre les objets. A notre connaissance, aucune autre étude n'a mis en perspective les préférences catégorielles des enfants avec leur comportement ludique et langagier envers les objets. Néanmoins, les résultats d'une tâche d'appariement (Kalenine & Bonthoux, 2006) rapportent des résultats similaires à ceux de Dunham & Dunham (1995). Un biais taxonomique est observé et l'analyse qualitative des distributions²⁹ indique que sur 37 enfants, 8 ont une préférence marquée pour les relations taxonomiques de niveau de base et 6 pour les relations thématiques. De plus, une préférence taxonomique semble orienter les enfants vers la prise en compte de la similarité visuelle dans une tâche catégorielle surordonnée (Kalenine & Bonthoux, 2006). Ainsi dès 3 ans, les performances catégorielles taxonomiques surordonnées semblent modulées par les préférences pour des choix taxonomiques au niveau de base ou des choix thématiques. En considérant que les préférences taxonomiques reflètent des processus centrés sur l'identité de l'objet et que les préférences thématiques reflètent des processus centrés sur les relations entre les objets, la variabilité interindividuelle observée suggère que la construction des différentes relations

²⁸ Les corrélations totales entre nombre de choix et conduites plus précoces de l'enfant s'étendent de $r=0,40$ à $r=0,60$ selon la VD utilisée (pointage ou dénomination).

²⁹ Pour constituer ces distinctions, Kalenine (2008, étude 1) sélectionne les enfants se situant à plus d'un écart-type de la moyenne des choix taxonomiques et thématiques.

catégorielles s'appuie sur la prise en compte de différents indices selon l'expérience préalable des enfants.

Les études présentées ci-dessus indiquent que deux types de relations sont utilisés par les enfants pour catégoriser. Or, si ces deux types de relations coexistent et peuvent être utilisés par tous les enfants, ces derniers devraient pouvoir être entraînés à privilégier l'une ou l'autre. La première étude suggérant un effet de l'entraînement sur les conduites catégorielles des très jeunes enfants (de 16 mois à 2 ans ½) est celle de Bauer & Mandler (1989). Les enfants doivent réaliser une tâche d'appariement dans laquelle la cible (e.g., une pomme) est présentée avec un associé taxonomique (de niveau de base, Expérience 1, e.g., une autre pomme, ou de niveau surordonné, Expérience 3, e.g., une poire) et un associé thématique (e.g., un couteau). Un court entraînement (3 essais) permet de renforcer les réponses taxonomiques au détriment des réponses thématiques (Expérience 1 et 3) ou les réponses thématiques au détriment des réponses taxonomiques (Expérience 2). Un effet de l'entraînement est observé : après un renforcement des réponses taxonomiques, les enfants choisissent très majoritairement les associés taxonomiques au niveau de base (Expérience 1) comme au niveau surordonné (Expérience 3) tandis qu'après un renforcement des réponses thématiques, ils choisissent très majoritairement les associés thématiques (Expérience 2).

Une autre étude s'intéresse à un entraînement plus indirect (Kalenine, Garnier, Bouisson, & Bonthoux, 2007). Dans cette expérience, les auteurs administrent à des enfants de 5 ans une épreuve de catégorisation surordonnée avant et après 3 séances d'apprentissage. Les séances d'apprentissage visent à induire la recherche de similarités perceptives ou de similarités fonctionnelles. La tâche de catégorisation, identique en pré-test et post test, implique la présentation de deux images cibles reliées taxonomiquement au niveau surordonné (e.g., deux fruits : une pomme et une banane) et trois associés : un associé taxonomique surordonné (e.g., un autre fruit, du raisin), un associé thématique (e.g., un panier) et un non-associé (e.g., une prise électrique), parmi lesquels un choix doit être effectué. Les résultats montrent un effet bénéfique de l'apprentissage sur le pourcentage de choix taxonomiques. Plus précisément, cette

expérience montre que quelques sessions d'apprentissage augmentent la propension des enfants à s'appuyer sur la similarité visuelle. Ainsi, même si des préférences existent a priori, il est possible d'entraîner les enfants à détecter certaines similarités. Ceci suggère que les enfants disposent de plusieurs stratégies pour catégoriser. Si tel est le cas, les caractéristiques propres à la situation devraient influencer le type de similarité prise en compte.

4.2. L'influence des variables expérimentales : les relations taxonomiques et thématiques sont pertinentes.

De manière générale, on trouve une grande diversité méthodologique dans l'étude de l'organisation des connaissances conceptuelles chez les jeunes enfants : des procédures d'appariement en choix forcé, d'amorçage, de tri, d'induction de propriétés, etc. Cette diversité permet d'aborder différents aspects de l'organisation des connaissances : les procédures d'appariement en choix forcé ou les procédures de tri permettent d'appréhender le type de relations catégorielles connues des enfants tandis que les procédures d'amorçage et d'induction de propriétés reflètent plutôt l'organisation des connaissances en mémoire. L'hypothèse développementale sous-jacente concerne généralement l'âge d'apparition des comportements catégoriels. Si l'utilisation de diverses méthodes permet d'étudier sous différents angles les capacités catégorielles, elles laissent aussi supposer une certaine flexibilité³⁰ dans l'utilisation de ces connaissances.

A l'aide de divers paradigmes, les chercheurs évaluent l'âge à partir duquel les enfants reconnaissent une relation catégorielle donnée et la potentielle pérennisation de son utilisation. Les regroupements d'objets de même sorte (i.e., les relations taxonomiques, e.g., associer un chat et un chien car ce sont des animaux), d'objets de même schéma (i.e., les relations thématiques, e.g., associer une tartine et un bol car ce

³⁰ Cette section ne traitera que partiellement des travaux portant sur la flexibilité catégorielle (e.g., Blaye, Bernard-Peyron, Paour, & Bonthoux, 2006; Blaye & Bonthoux, 2001; Blaye & Jacques, 2009; Bonthoux, Berger, & Blaye, 2004; Nguyen & Murphy, 2003; Sloutsky & Fisher, 2008). En effet, nous nous intéressons plutôt aux recherches sur les capacités catégorielles des jeunes enfants plutôt que leurs capacités à considérer différents types de relations pour un même concept.

sont des objets du petit déjeuner) ou d'objets visuellement similaires (i.e., les relations perceptives, e.g., associer un croissant de lune et une banane car elles ont la même forme et la même couleur) ont ainsi été étudiés. Les enfants sont capables, dès 2 ans, de détecter les trois types de relations (Daehler, Lonardo, & Bukatko, 1979), mais les préférences pour les relations taxonomiques et thématiques augmentent avec l'âge (au détriment des relations purement perceptives) (Walsh, Richardson, & Faulkner, 1993). De plus, divers facteurs orientent les enfants vers la détection d'une relation catégorielle au détriment d'une autre.

Le type de tâche proposée semble orienter les enfants vers la prise en compte de certaines caractéristiques. Par exemple, un même matériel est majoritairement trié selon des relations taxonomiques surordonnées mais majoritairement apparié selon les relations thématiques par les enfants de 5, 7 et 9 ans (Blaye, Bernard-Peyron, & Bonthoux). Ce résultat peut être guidé par un effet sous-jacent du nombre d'éléments présents simultanément dans chacune des tâches. Dans la tâche d'appariement, la présence de deux éléments suffit pour détecter la proximité spatio-temporelle alors que dans la tâche de tri, la présence de plus de deux éléments facilite la prise en compte des relations taxonomiques surordonnées. En outre, l'introduction de plus d'une image cible conduit les enfants à comparer plusieurs exemplaires d'une même catégorie et faciliterait l'abstraction conceptuelle (Gentner & Namy, 1999) et, par conséquent, la prise en compte des relations taxonomiques particulièrement au niveau surordonné (Kalenine & Bonthoux, 2006; Liu, Golinkoff, & Sak, 2001).

Par ailleurs, dans les tâches d'appariement, demander aux enfants de trouver celui qui « va avec » plutôt que « un autre » induit une augmentation des choix thématiques au détriment des choix taxonomiques (Waxman & Namy, 1997). Cet effet de la consigne semble comparable aux modifications des conduites catégorielles en présence d'un contexte lexical³¹. L'effet de l'étiquetage linguistique de la cible (« tu vois ce *dax*, montre moi un autre *dax* »), mis en évidence dès 3 ans, se traduit classiquement

³¹ En effet le contexte lexical est induit par la consigne : l'expérimentateur explique d'abord à l'enfant que la cible se dénomme un «dax» par exemple, et lui demande ensuite de trouver un autre «dax». Ce type de procédure permet d'étudier sur quelles bases l'enfant considère que des objets peuvent avoir le même nom.

par une augmentation des choix taxonomiques au détriment des choix thématiques ou perceptifs par rapport à une condition sans dénomination de la cible (e.g., Baldwin, 1992; Golinkoff et al., 1995; Imai, Gentner, & Ushida, 1994; Markman & Hutchinson, 1984). Ainsi, l'étiquetage linguistique orienterait les enfants vers la détection de la similarité visuelle au détriment de la similarité contextuelle/fonctionnelle. Cette détection conduirait les enfants à considérer qu'un nom commun s'applique d'abord à tous les objets similaires visuellement, puis uniquement aux objets similaires de même catégorie taxonomique (Golinkoff et al., 1995). Néanmoins, des études récentes nuancent cette conclusion en suggérant que la consigne utilisée dans les tâches de généralisation du nom favoriserait les processus de comparaison (Graham, Namy, Gentner, & Meagher, 2010). En effet, lorsque la consigne induit une généralisation potentielle de la propriété visuelle (e.g., « les *bants* ont des rayures »), les choix perceptifs sont majoritaires (Hollander, Gelman, & Raman, 2009)³². Les enfants, en fonction de la consigne, prendraient alors en compte les indices de similarité disponibles. Ainsi, un contexte de présentation des objets valorisant leur forme ou leur fonction induit une généralisation du nom sur la base de la détection de la similarité visuelle (e.g., Blair & Somerville, 2009; Diesendruck, Markson, & Bloom, 2003) ou de la similarité fonctionnelle (Hammer & Diesendruck, 2005), respectivement.

En montrant que certaines procédures orientent les enfants vers la prise en compte de la similarité visuelle ou de la similarité fonctionnelle, ces études suggèrent que ces deux indices sont pertinents et relativement équivalents puisque les enfants les utilisent pour regrouper les objets sous un nom générique. Ces deux types d'indices orienteraient par contre la construction de regroupements différents. De manière générale, on considère que les regroupement taxonomiques, par exemple associer un chien et un chat, induiraient la prise en compte de la similarité visuelle que les objets entretiennent entre eux (Rosch, 1978). Au contraire, les regroupement thématiques, par exemple associer un bol et une tartine, induiraient la prise en compte d'indices spatio-

³² Dans cette expérience l'instruction généraliste « les *bants* ont des rayures » est opposée à une instruction individualisante « ce bant a des rayures ».

temporels (Mandler, 1984, voir également la section présentant les modèles de Nelson). Les mécanismes sous-jacents à l'identification des relations taxonomiques et des relations thématiques illustrent particulièrement bien la variabilité des conduites catégorielles.

Tout d'abord, les deux types de relations semblent disponibles très tôt puisque, dès deux ans, les enfants sont capables d'associer une même cible (e.g., un canard de bain) thématiquement (i.e., associer le canard de bain à un savon) ou taxonomiquement (i.e., associer le canard de bain à un puzzle) (Nguyen, 2007, Expérience 2). De plus, certaines études démontrent la précérence des relations taxonomiques (e.g., Fenson, Vella, & Kennedy, 1989) tandis que d'autres démontrent la précérence des relations thématiques (e.g., Bauer & Mandler, 1989, Expérience 2). Les nombreux arguments expérimentaux en faveur de l'une ou l'autre des positions suggèrent donc une coexistence des deux types de relations (voir Kalenine & Bonthoux, 2008 pour un point de vue similaire).

Ces deux types de relation semblent également à même de refléter l'organisation des catégories en mémoire. Les choix taxonomiques et thématiques des enfants de 4 et 6 ans sont favorisés par la présentation préalable de paires d'associés taxonomiques ou thématiques (Berger & Aguerra, 2010). Cet effet lié à l'adjonction d'un contexte catégoriel montre que les choix des enfants dépendent de la compréhension de la relation catégorielle sous-jacente. De même, chez les enfants de 6 et 8 ans, un effet d'amorçage facilitateur a été mis en évidence dans une tâche de décision d'objet lorsque la cible (e.g., une chemise) est présentée après une amorce reliée thématiquement (e.g., un fer à repasser) et lorsque la cible (e.g., une scie) est présentée après une amorce reliée taxonomiquement (e.g., un marteau) (Hashimoto, McGregor, & Graham, 2007). Ces différentes études apportent une preuve supplémentaire quant à la coexistence des catégories thématiques et taxonomiques.

Ainsi, lorsque l'on oppose détection de relations catégorielles thématiques et détection de relations catégorielles taxonomiques, les différentes études laissent supposer que les enfants disposent de plusieurs stratégies pour catégoriser le monde qui les entoure : une stratégie basée sur l'extraction de la similarité

contextuelle/fonctionnelle à l'origine des regroupements thématiques, et une stratégie basée sur l'extraction de la similarité perceptive à l'origine des regroupements taxonomiques, ces deux stratégies se développant de manière enchevêtrée.

Les travaux de Rosch (Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976) suggèrent que les catégories taxonomiques regroupent des objets de même sorte possédant des propriétés communes, notamment des propriétés perceptives. Puisque les ressemblances entre les exemplaires d'une même catégorie et les différences entre les exemplaires de plusieurs catégories conditionnent les performances catégorielles taxonomiques des enfants, l'accès aux catégories taxonomiques dépendrait des caractéristiques purement perceptives des stimuli. Une série d'expériences réalisées chez des enfants de 3 à 10 ans met en évidence une primauté du traitement catégoriel au niveau de base par rapport au niveau surordonné (Rosch et al., 1976). Les auteurs imputent cette primauté du niveau de base au degré de similarité que les objets entretiennent entre eux. Cependant, dans la mesure où le rôle de la similarité perceptive dans l'établissement des relations taxonomiques n'est pas forcément reconnue par tous les chercheurs du domaine (e.g., Mandler, 2012), l'acquisition des regroupements taxonomiques semblent particulièrement intéressants.

4.3. Questionner la nature perceptive des catégories taxonomiques

La similarité visuelle peut se définir à travers diverses caractéristiques telles que le mouvement, la taille, la couleur ou la forme, indices qui sont détectés et utilisés par les enfants dès deux ans (Pitchford & Mullen, 2001). La plupart des chercheurs s'accordent d'ailleurs sur le rôle prédominant de la similarité de forme globale dans les comportements catégoriels des enfants (e.g., Imai et al., 1994). Ce biais de forme, défini comme l'utilisation préférentielle de la forme par rapport à d'autres caractéristiques visuelles des stimuli telles que la texture ou la taille (Landau, Smith, & Jones, 1988), a été mis en évidence dans des tâches de généralisation de nom d'objet réel (Gentner & Namy, 1999; Golinkoff et al., 1995; Imai et al., 1994) ou nom d'objet nouveau (e.g., Booth, Waxman, & Huang, 2005; Diesendruck & Bloom, 2003; Samuelson & Smith, 2000), mais également dans des tâches d'induction de propriétés

(Fisher & Sloutsky, 2005; Sloutsky & Fisher, 2004). Par exemple, Sloutsky, Kloos and Fisher (2007) ont utilisé des objets nouveaux pouvant être regroupés soit par rapport à leur similarité de forme soit par rapport à une similarité interne, les deux relations étant préalablement apprises par les enfants. Les résultats montrent que, bien que les enfants aient correctement appris et reconnaissent la propriété interne, leurs choix catégoriels se portent préférentiellement vers les entités similaires visuellement. Ainsi, les propriétés des objets sont préférentiellement étendues à des objets de même forme plutôt qu'à des objets possédant une structure interne commune. L'influence de certains indices perceptifs sur la catégorisation pourrait être liée à leur potentiel discriminatoire, les catégories taxonomiques étant définies par rapport au degré de similarité que les objets entretiennent entre eux (Rosch, 1978; Sloutsky et al., 2007).

Dans une expérience réalisée chez des enfants de 18, 21 mois et 2 ans et chez des adultes, Arias-Trejo et Plunkett (2010) proposent aux participants d'identifier un objet parmi deux présentés sur l'écran (une cible et un distracteur). Les distracteurs et les cibles peuvent être soit de même forme et de même catégorie (e.g., une vache et un cheval), soit de même forme mais de catégorie différente (e.g., une balle et une pomme), soit de forme différente et de même catégorie (e.g., un chien et un poisson), soit de forme différente et de catégorie différente (e.g., un canard et un vélo). Les résultats montrent un effet d'interférence pour identifier la cible lors de la présentation d'items de même forme. Néanmoins, cet effet d'interférence est limité lorsque les items visuellement similaires appartiennent à des catégories différentes, ce qui suggère que les connaissances catégorielles (i.e., les deux items sont des animaux) et les informations visuelles participent toutes deux à l'identification d'un objet. Les propriétés visuelles pourraient alors ne pas être les seules à participer à l'élaboration des catégories taxonomiques.

Un des moyens de questionner la nature perceptive des relations catégorielles est de comparer le traitement des relations taxonomiques à celui des relations perceptives. Le traitement des informations perceptives semble plus rapide et plus robuste que le traitement des informations taxonomiques de niveau de base, suggérant une facilité d'élaboration de la similarité perceptive, mais pas forcément en contexte taxonomique

(Fisher, 2011). Dans cette expérience, les auteurs utilisent la même procédure d'appariement en choix forcé dans deux phases successives : la cible (e.g., un parapluie rouge ouvert) est présentée avec deux associés potentiels : un associé perceptif (e.g., un champignon rouge) et un associé taxonomique (e.g., un parapluie fermé). Des enfants de 3 et 5 ans doivent appairer les objets selon un premier critère dans la première phase (i.e., taxonomique ou perceptif) et utiliser l'autre dans la deuxième phase. Bien que les enfants soient capables d'identifier les deux types de relation, le coût lié au changement de stratégie est plus important lorsqu'ils doivent passer de l'identification d'un lien perceptif à un lien taxonomique (*vs.* lorsqu'ils doivent passer de l'identification d'un lien taxonomique à un lien perceptif³³). Cet effet disparaît lorsqu'un seul associé est proposé (i.e., le choix porte sur un non-associé et un associé soit taxonomique, soit perceptif). Ainsi, la difficulté à traiter les informations conceptuelles semble liée à une difficulté à dissocier les informations perceptives et taxonomiques lorsqu'elles sont présentées simultanément, suggérant ainsi que les informations perceptives ne sont pas les seules informations nécessaires à la catégorisation taxonomique, même au niveau de base.

Il a été proposé que les enfants puissent grouper les objets de manière taxonomique en se basant sur des indices spatio-temporels (regrouper un ours et un poisson car les ours mangent les poissons) plutôt que sur la reconnaissance de leur appartenance à une même sorte de chose (les ours et les poissons sont des animaux). (Blaye & Bonthoux, 2001). Blaye, Bernard-Peyron, Paour & Bonthoux (2006, Expérience 2) évaluent le rôle des indices visuels et spatio-temporels dans la construction des catégories taxonomiques, en demandant à l'enfant d'inclure de nouveaux items à un tri taxonomique initial. Ces nouveaux items sont soit des faux amis (i.e., un objet perceptivement similaire ou de même schéma mais appartenant à une autre catégorie taxonomique) ne devant pas être inclus dans la catégorie préalable, soit des membres potentiels (i.e., un objet de même catégorie taxonomique) devant donc être inclus.

³³ Le coût de transfert du perceptif au taxonomique est calculé en comparant les temps d'identification de la relation taxonomique (phase 2) en condition transfert (i.e. après avoir identifié une relation perceptive) et non transfert (i.e. après avoir identifié une relation taxonomique). Le coût de transfert du taxonomique au perceptif est calculé de manière analogue.

L'analyse du type d'inclusion acceptée par les enfants de 7 et 9 ans indique qu'ils incluent beaucoup plus de membres potentiels que de faux amis alors que les plus jeunes (5 et 6 ans) acceptent d'inclure autant de faux amis que de membres potentiels. A 5 et 6 ans, l'inclusion des faux amis semble être dirigée à la fois par la similarité spatio-temporelle et par la similarité visuelle. Cela suggère que la structure des catégories taxonomiques chez les jeunes enfants est moins rigide et moins exclusive puisqu'ils acceptent l'introduction de membres similaires sur une seule dimension même si cette introduction outrepassé les frontières ontologiques (voir également, Gentner & Namy, 1999). Ainsi, l'utilisation préférentielle des indices perceptifs dans la construction des catégories taxonomiques semble se faire progressivement entre 7 et 10 ans.

Cette suggestion est confirmée par une étude récente utilisant une procédure d'association sémantique. (Di Giacomo, De Federicis, Pistelli, Fiorenzi, & Passafiume, 2012). Dans cette tâche réalisée verbalement, des enfants âgés de 4 à 7 ans doivent appairer correctement une image cible (e.g., un marteau) à un mot partageant, selon les essais, un lien fonctionnel (e.g., taper), un lien perceptif (e.g., un manche), un lien qualitatif (e.g., dur), un lien d'utilisation commune ou de contiguïté spatio-temporelle (e.g., un clou) ou un lien taxonomique surordonné (e.g., un outil). Les résultats indiquent que dès 4 ans, les enfants identifient toutes les relations. Ils soulignent également une hiérarchie dans la reconnaissance des relations : les relations fonctionnelles et perceptives sont majoritairement reconnues dès 4 ans alors que le pourcentage de relations taxonomiques reconnues augmente progressivement entre 5 et 7 ans. Notons que dans cette expérience, les liens taxonomiques sont de niveau surordonné (impliquant donc des items partageant peu de similarité visuelle) alors que les liens perceptifs impliquent des noms de partie ou de forme globale des objets, présents dans la cible elle-même. Ces résultats qui suggèrent que les relations taxonomiques ne sont pas basées uniquement sur la prise en compte de la similarité visuelle peuvent constituer un argument en faveur d'une hiérarchie d'acquisition des relations taxonomiques dépendant de la facilité de traitement de certains indices perceptifs et de leur disponibilité dans le regroupement effectué.

Dans l'ensemble, les différents modèles présentés dans ce chapitre proposent des points de départ unitaires quant aux mécanismes de formation des catégories. Une des principales divergences concerne la nature des informations prises en compte : des informations perceptives dès 2 mois, selon Quinn et Eimas ou des informations fonctionnelles/contextuelles au cours des deux premières années, selon Nelson. Pourtant un grand nombre de travaux effectués chez les jeunes enfants s'oppose à une prise en compte des informations à partir d'un seul processus. Ces travaux suggèrent plutôt que les indices pris en compte par les enfants soient modulés par des caractéristiques propres à la situation ou à la procédure expérimentale ainsi qu'aux caractéristiques individuelles. De plus, si Nelson postule une influence directe du contexte de rencontre des objets, Mandler ainsi que Quinn et Eimas admettent un rôle de l'expertise avec les exemplaires rencontrés. La prise en compte plus tardive des informations fonctionnelles pourrait être liée aux interactions grandissantes de l'enfant avec son environnement. En effet, l'entraînement à détecter un type de relation rend ces informations plus saillantes. Finalement, ces modèles s'opposent également quant à la nature des connaissances conceptuelles. Le modèle de Nelson explicite un processus d'abstraction entre catégories thématiques et taxonomiques. Celui de Mandler suppose une re-description des connaissances perceptives en connaissances conceptuelles. Enfin, celui de Quinn et Eimas permet de considérer un développement continu où des processus associatifs viendraient enrichir les premières catégories. Le statut et la nature des connaissances taxonomiques semblent donc particulièrement intéressants, en particulier leur nature perceptive. Le chapitre suivant vise justement à questionner la nature des informations conceptuelles dans les regroupements taxonomiques des enfants, nous amenant à considérer une approche pluraliste des concepts, dans laquelle certains indices seraient préférentiellement utilisés en fonction de caractéristiques individuelles et de la situation, en particulier, le contexte de rencontre des objets.

Chapitre 2. DES CONNAISSANCES CONCEPTUELLES VARIABLES : VERS UNE APPROCHE INCARNEE ET AMODALE DES REPRESENTATIONS

Le chapitre précédent a montré que si, selon les auteurs, les processus catégoriels du nouveau-né et du jeune enfant reposent sur la prise en compte d'indices visuels/perceptifs ou d'indices contextuels/fonctionnels, les résultats attestent d'une coexistence de ces deux mécanismes chez un même enfant. Les enfants semblent disposer, dès deux ans, de plusieurs stratégies pour organiser leurs connaissances des objets de l'environnement, et notamment de stratégies de regroupements thématiques et taxonomiques. En outre, même dans les relations taxonomiques, les enfants semblent utiliser différents indices. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons particulièrement à la modulation des indices pris en compte en fonction du type de stimuli utilisés (nous évoquerons la possibilité de distinguer les objets fabriqués des objets naturels, et les objets manipulables des objets non manipulables). Ces différents résultats sont autant d'arguments à une conception pluraliste du développement des connaissances. Finalement ces mêmes résultats laissent suggérer une influence importante du contexte de rencontre des objets et permet d'envisager le développement des connaissances catégorielles dans un cadre plus large, dynamique, du développement.

1. La maîtrise des relations taxonomiques : vers la prise en compte de différents indices selon la nature des objets à catégoriser

Certains travaux chez les adultes (e.g., Cree & McRae, 2003; Marques, 2006; McRae, Cree, Seidenberg, & McNorgan, 2005; Roll-Carpentier, Bonthoux, & Kalénine, 2006; Ventura, Morais, Brito-Mendes, & Kolinsky, 2005) suggèrent une différence de contribution des informations sensorielles (i.e., visuelles, auditives, proprioceptives) et fonctionnelles en fonction du domaine d'appartenance des objets. Selon certains auteurs (Caramazza & Mahon, 2003; Caramazza & Shelton, 1998; Mahon & Caramazza, 2008, 2009) cette différence de contribution des caractéristiques des objets selon leur

domaine d'appartenance reflèterait une organisation des connaissances conceptuelles chez l'adulte sous le primat du domaine³⁴. Cette proposition fait écho aux théories développementales essentialistes ou naïves (pour des revues de questions sur ces conceptions voir e.g., Carey, 2000; Gelman, 2004; Spelke & Kinzler, 2007). Celles-ci envisagent une construction des catégories sur la base de contraintes innées, justifiant l'existence de certaines propriétés des objets par leur utilité et créant ainsi une distinction entre domaines catégoriels (e.g., Kelemen, 1999). D'un point de vue développemental, Keil (1992) propose que si les justifications des très jeunes enfants incluent indifféremment tous types d'objet, certaines spécificités se développent. Les propriétés des objets vivants se justifieraient par leur utilité pour celui qui les détient ou les exécute (e.g., les poumons servent à respirer, la bouche à manger) alors que les propriétés des objets fabriqués se justifieraient par leur utilité pour autrui (e.g., la lame du couteau est utile pour celui qui coupe, le manche du marteau pour le bricoleur). Les travaux relatifs aux conceptions essentialistes ont pour la plupart confronté l'utilisation de caractéristiques visuelles des objets avec l'utilisation de propriétés internes et non visibles, parfois fonctionnelles des objets, naturels ou fabriqués. Ils nous permettent donc d'analyser l'utilisation préférentielle des indices catégoriels en fonction du domaine d'appartenance des objets.

1.1. La distinction entre objets fabriqués et objets naturels chez les enfants

Concernant les objets naturels, la plupart des études sont issues de tâches d'induction dans lesquelles les enfants apprennent une propriété interne, invisible (e.g., un lapin marron mange de l'herbe) et doivent la généraliser à un stimulus soit de même catégorie mais peu similaire perceptivement (e.g., un lapin blanc), soit d'une autre catégorie mais très similaire perceptivement (un écureuil marron avec de grandes oreilles). Les résultats indiquent que dès 3-4 ans les enfants généralisent une propriété interne aux stimuli de même catégorie (i.e., un autre lapin) plutôt qu'aux stimuli très

³⁴ D'un point de vue théorique, plusieurs cadres explicatifs ont été proposés pour expliquer la différence de pondération du type de propriétés en fonction du domaine d'appartenance des objets (voir e.g., Mahon & Caramazza, 2009; Marques, 2006 pour une vue d'ensemble des différents cadres théoriques).

ressemblants mais de catégorie différente (e.g., Gelman & Markman, 1986, 1987). Conformément aux hypothèses des conceptions essentialistes, ces premiers travaux sur la catégorisation des objets naturels ont surtout démontré la non utilisation des indices perceptifs au profit des indices conceptuels. Plus récemment, en reprenant les stimuli de Gelman & Markman (1986), Sloutsky et Fischer (2004) ont montré que la proportion de propriétés internes généralisées à des exemplaires de même catégorie pouvait être prédite par la similarité perceptive entre les deux images, suggérant un rôle concomitant de la similarité visuelle et des connaissances conceptuelles dans l'élaboration des catégories d'animaux.

Cette concomitance pourrait être liée au fait que les propriétés internes des concepts vivants seraient des propriétés centrales, ayant un statut de causalité particulier, puisqu'elles seraient responsables de l'ensemble des propriétés externes de ces objets (Ahn, 1998; Ahn, Gelman, Amsterlaw, Hohenstein, & Kalish, 2000). De même, Oakes & Madole (1999) proposent que les performances des enfants (i.e., catégoriser sur la base de la similarité conceptuelle) ne soient pas forcément basées sur des connaissances conceptuelles a priori mais peuvent refléter la compréhension des liens associatifs³⁵ entre certaines parties des objets (e.g., avoir une bouche) et certaines propriétés internes des objets (e.g., boire de l'eau), laissant supposer que les effets observés dériveraient de l'expérience des enfants (voir également Bulloch & Opfer, 2009 pour un raisonnement similaire). Dans l'expérience de Bulloch et Opfer (2009), des triades d'images (2 insectes, et 1 œuf) sont présentées à des enfants de 3, 4, et 5 ans et à des adultes comme pouvant entretenir une relation de parentèle ou une relation de prédateur/proie. Les essais impliquant une relation de parentèle doivent être résolus sur la base de la similarité conceptuelle tandis que les essais impliquant une relation de prédateur/proie doivent être résolus sur la base de la similarité visuelle. La procédure se déroule ainsi : l'enfant voit successivement trois triades « parentèle » (a, b, et t) ou

³⁵ Notons que des propositions similaires ont été avancées pour expliquer les résultats observés chez l'adulte : il existe une corrélation entre les propriétés internes des objets naturels et la présence ou l'absence de traits perceptifs globaux.

trois triades « prédateur/proie » (a, b, et t). Le test³⁶ porte sur la comparaison entre le 3^{ème} œuf (œuf t) et les 2 autres (œufs a et b). Les choix basés sur la similarité perceptive augmentent avec l'âge. Néanmoins, conformément aux hypothèses, lorsqu'il s'agit d'une relation de parentèle, le pourcentage de choix conceptuels augmente graduellement entre 3 et 5 ans alors que lorsqu'il s'agit d'une relation de prédateur/proie, ce sont les choix perceptifs qui augmentent graduellement entre 3 et 5 ans. Ces résultats suggèrent que les enfants prennent en compte la valeur prédictive des essais précédents et n'utilisent pas particulièrement la similarité visuelle pour raisonner sur les concepts vivants. Ainsi, si le rôle de la similarité visuelle dans le traitement des objets naturels, et particulièrement des animaux, est largement partagé dans la littérature adulte, il semble difficile de pouvoir conclure de manière aussi catégorique d'un point de vue développemental.

Cependant, l'utilisation prépondérante de tâches d'induction de propriété pourrait en être responsable. En effet, selon le contexte de présentation, cette procédure attirerait l'attention de l'enfant sur la prise en compte alternative de caractéristiques non visuelles. De plus, ce n'est qu'à partir de 2-3 ans que la généralisation de propriétés (i.e., du type croissance, transmission génétique, maladie etc.) se fait en faveur de la similarité conceptuelle (e.g., Backsheider, Shatz, & Gelman, 1983; Springer & Keil, 1991) au détriment de la similarité visuelle, les enfants plus jeunes et les bébés se basant plutôt sur la similarité visuelle. Enfin, les enfants de 3 ans présentant une sensibilité particulière aux caractéristiques visuelles des objets (plutôt qu'aux caractéristiques relationnelles/fonctionnelles) sont plus performants pour identifier les relations catégorielles surordonnées des objets naturels que des objets fabriqués (Kalenine & Bonthoux, 2006). De même, les jeunes enfants généralisent les propriétés internes à des objets de même catégorie (mais peu similaires perceptivement) plutôt qu'à des objets de même forme, uniquement si le nom donné aux objets est un nom familier (Welder & Graham, 2001). De plus, le contexte de présentation des items

³⁶ Le test implique une tâche catégorielle (l'œuf t est-il de la même sorte que l'œuf a ou l'œuf b ?), une tâche d'induction (l'œuf t a-t-il le même sang que a ou l'œuf b ?) et une tâche de projection (dans le futur, l'œuf t va-t-il ressembler à l'œuf a ou à l'œuf b ?). Il n'y a pas d'effet du type de questionnement.

semblent avoir de l'importance. Par exemple, Macario (1991, Expérience 4) rapporte que les enfants de 2 et 3 ans sont sensibles à la valeur prédictive de certains items. En effet, les enfants appariement de nouveaux items plutôt par leur couleur (*vs.* leur forme) lorsqu'ils pensent que ce sont des aliments et plutôt par leur forme (*vs.* leur couleur) lorsqu'ils pensent que ce sont des jouets.

Concernant la catégorisation des objets fabriqués, de nombreux résultats viennent corroborer l'idée que les propriétés fonctionnelles sont utilisées très tôt. Dans les tâches d'appariement, les choix des enfants semblent être dirigés par la similarité fonctionnelle au détriment de la similarité de forme ou de couleur dès 2-3 ans (Diesendruck, Markson et al., 2003; Kemler Nelson, Frankenfield et al., 2000), que les objets soient issus de catégories familières (Jaswal, 2006) ou créés pour les besoins expérimentaux (e.g., Kemler Nelson, 1995; Kemler Nelson et al., 2008; Kemler Nelson, Russell et al., 2000). Les expériences utilisant une procédure de généralisation du nom rapportent des résultats similaires : les enfants généralisent le nouveau nom d'un objet dont la fonction a été démontrée à des objets de même fonction plutôt qu'à des objets de même forme (e.g., Diesendruck, Markson et al., 2003; DiYanni & Kelemen, 2008; L. B. Smith, Landau, & Jones, 1996).

Par ailleurs, les enfants sont capables de se baser sur la similarité fonctionnelle si on leur demande de le faire, bien que ceux de trois ans aient besoin d'une consigne plus explicite que ceux de quatre ans (Deak, Ray, & Pick, 2002). Cependant, dès deux ans, les enfants apprennent et généralisent la fonction d'un nouvel objet sur la base d'une simple démonstration (Casler & Keleman, 2005; Casler & Kelemen, 2007). Dans ces expériences, deux objets sont présentés à l'enfant. Un des objets est utilisé par l'expérimentateur et l'enfant reproduit cette utilisation tandis que l'autre est utilisé librement par l'enfant³⁷. Puis dans une phase de test, l'enfant voit de nouveaux exemplaires des objets et doit choisir celui qui permettrait de réaliser la fonction. Les enfants choisissent alors majoritairement l'exemplaire dont la fonction a été démontrée.

³⁷ Notons que l'apparence globale des objets est compatible avec la fonction mais la fonction n'est démontrée que sur un seul des deux objets.

L'utilisation de la similarité fonctionnelle serait conditionnée par la démonstration ou la découverte au préalable de la fonction des objets (Kemler Nelson, Frankenfield et al., 2000). Cette démonstration pourrait permettre à l'enfant de comprendre que les objets sont liés à une intention d'utilisation particulière (e.g., Asher & Kemler Nelson, 2008; Bloom, 1996; Gelman & Bloom, 2000; Kemler Nelson, Russell et al., 2000). L'utilisation ou l'intention d'utilisation pourrait alors constituer un indice orientant les enfants à détecter la similarité fonctionnelle. En effet, des objets présentés comme ayant été créés pour un usage particulier, mais étant en fait utilisés autrement sont appariés sur la base de leur utilisation actuelle à 4 ans tandis qu'à 6 ans et à l'âge adulte, ils le sont sur la base de leur fonction initiale (Defeyter, Hearing, & German; Matan & Carey, 2001). En outre, la reconnaissance des outils est facilitée par la présentation en amorce d'une action mimée (sous forme de film) suggérant que les informations fonctionnelles liées à l'utilisation de l'outil pré-activent sa reconnaissance (Mounoud, Duscherer, Moy, & Perraudin, 2007). Ainsi la similarité fonctionnelle serait prépondérante pour les objets fabriqués en vertu de leur utilisation.

La similarité fonctionnelle pourrait alors être prise en compte non pas de manière exclusive mais en lien avec d'autres caractéristiques des objets fabriqués. Dans certains cas, la propension à détecter et utiliser la similarité fonctionnelle semble dépendre du fait que la similarité visuelle varie peu entre les différents exemplaires (Diesendruck, Hammer, & Catz, 2003; Diesendruck, Markson et al., 2003). Certains auteurs suggèrent d'ailleurs que les choix fonctionnels des enfants sont guidés par la détection de la corrélation entre la forme des objets et leur fonction (e.g., avoir une lame et couper, être rond et rouler) (e.g., Madole & Oakes, 1999). Diesendruck, Markson et al. (2003) proposent de dissocier l'influence de la forme et de la fonction chez les enfants de 5 ans et les adultes à l'aide d'une procédure en choix forcé. Un objet cible est présenté avec deux associés, un associé fonctionnel et un associé perceptif, possédant respectivement un degré de similarité visuelle ou fonctionnelle plus ou moins grand avec la cible. Bien que les associés fonctionnels soient majoritairement choisis, les adultes choisissent les associés fonctionnels quels que soient leur degré de similarité avec la cible alors que les enfants ne choisissent que les objets qui sont très similaires visuellement et

fonctionnellement. Cependant, il ne semble pas nécessaire que la similarité visuelle soit totale : dès 3 ans, les enfants sont capables de détecter la similarité fonctionnelle entre deux objets peu similaires visuellement (e.g., ne possédant qu'une seule partie en commun) (Gelaes & Thibaut, 2006). Ces résultats suggèrent que pour les enfants, les catégories d'objets fabriqués incluent des objets similaires fonctionnellement s'ils présentent une certaine homogénéité perceptive.

Bien que bénéficiant d'un cadre théorique propice à la distinction entre domaine, les travaux présentés ici ne mettent pas en évidence une dichotomie claire entre catégorisation des objets naturels sur la base des indices visuels et catégorisation des objets fabriqués sur la base d'indices fonctionnels. Il semblerait que les informations visuelles, largement utilisées par les bébés, restent un indice catégoriel important chez les enfants. Cependant, les différents travaux rapportés ici suggèrent que dès 2-3 ans, les enfants se basent à la fois sur la similarité perceptive et sur la similarité fonctionnelle des objets pour les catégoriser. Si l'on considère les propositions développementales développées dans le premier chapitre, ce constat pourrait être lié aux capacités motrices des bébés se développant plus tardivement que leur capacité de discrimination visuelle. La prise en compte de similarité non visuelle pourrait alors être liée à l'augmentation des interactions plus variées des enfants avec leur environnement, les amenant à découvrir entre autre la pertinence de la similarité fonctionnelle. La similarité visuelle serait utilisée par défaut pour généraliser les propriétés des animaux (Sloutsky & Fisher, 2004; Sloutsky et al., 2007) avec lesquels les enfants ont peu d'interactions directes. Par contre, ce biais catégoriel serait atténué lorsque la fonction des objets est clairement explicitée (Truxaw, Krasnow, Woods, & German, 2006), comme c'est le cas pour les objets fabriqués. Par exemple, les jeunes enfants (5 et 6 ans) attribuent aux objets naturels « non-vivants » (e.g., montagne, nuages) des propriétés d'utilité (e.g., se répare) non pertinentes pour les adultes et les enfants plus âgés (7 et 9 ans) (DiYanni & Kelemen, 2005). Ainsi l'utilisation de la similarité visuelle serait atténuée par des facteurs venant amplifier la pertinence d'autres caractéristiques (e.g., l'appartenance surordonnée des entités biologiques,

pour les objets naturels, ou la fonction pour les objets fabriqués) mais pas nécessairement associées à des propriétés visuelles.

1.2. De la distinction entre domaines à une distinction en fonction de l'utilisation et de la manipulation des objets

Les études citées précédemment ont comme point commun de confronter l'utilisation des indices visuels ou fonctionnels avec l'utilisation d'indices conceptuels ou visuels, respectivement. Or, l'hypothèse d'une utilisation préférentielle d'un type d'indice en fonction du domaine d'appartenance devrait se faire à partir de protocoles expérimentaux dédiés. Par exemple, une étude analysant le type de questionnement à propos d'objets inconnus (i.e., des animaux non familiers et des nouveaux objets fabriqués) chez des enfants de 4 ans^{1/2} montre très clairement qu'ils ne cherchent pas à obtenir le même type d'information dans les deux domaines d'appartenance (Greif, Kemler Nelson, Keil, & Gutierrez, 2006). Les questions relatives aux animaux non familiers concernent leur régime alimentaire et leur habitat alors que les questions relatives aux nouveaux objets fabriqués concernent leur fonction et leur utilisation. De plus, les indices de similarité perceptive et de similarité fonctionnelle sont différemment utilisés par les enfants de 5 ans en fonction du domaine d'appartenance des objets (Bonthoux & Kalenine, 2007). Dans cette expérience, lorsque les enfants sont entraînés à détecter la similarité perceptive, leur performance dans une tâche d'appariement est meilleure pour les objets naturels que pour les objets fabriqués. En revanche, un entraînement à détecter la similarité fonctionnelle n'entraîne pas de différence significative entre les deux types d'objets.

Ainsi, la catégorisation des objets naturels pourrait être guidée par la prise en compte d'indices perceptifs alors que la catégorisation des objets fabriqués pourrait l'être par la prise en compte d'indices contextuels et d'indices perceptifs. Scheuner et Bonthoux (2004) proposent une tâche d'appariement en choix forcé. La cible (e.g., une chèvre) est présentée avec un associé taxonomique et un associé thématique. La réponse attendue est l'associé taxonomique qui peut, selon les essais, entretenir avec la cible une relation perceptive et contextuelle (e.g., un âne), une relation perceptive

uniquement (e.g., une gazelle), une relation contextuelle uniquement (e.g., un lapin), ou une relation taxonomique simple (i.e., ni perceptive ni contextuelle, e.g., un papillon). Pour les objets naturels, les choix taxonomiques des enfants de 5 ans ½ sont plus nombreux lorsque l'associé a une relation perceptive. En revanche, pour les objets fabriqués, les choix taxonomiques des enfants des 5 ans ½ sont plus nombreux lorsque l'associé a une relation perceptive ou une relation contextuelle, la présence des deux indices simultanément étant plus bénéfique que la présence d'un seul indice, même fonctionnel.

La facilitation de traitement des objets fabriqués liée à la détection des indices fonctionnels semble être conditionnée par la présence d'informations perceptives (Kalenine & Bonthoux, 2006). Lorsque les informations liées à la similarité visuelle ne sont pas disponibles, l'utilisation des indices fonctionnels semble faciliter la reconnaissance des objets fabriqués au niveau de base et au niveau surordonné (Mounoud et al., 2007) mais pas l'établissement de relations catégorielles au niveau surordonné (Bonthoux & Kalenine, 2007; Kalenine & Bonthoux, 2006; Scheuner & Bonthoux, 2004). Les propriétés fonctionnelles semblent associées aux concepts d'objet fabriqué, leur présentation induisant des effets d'amorçage mais elles ne seraient pas particulièrement décisives lors de l'établissement des relations catégorielles au niveau surordonné. Kalénine (2008) propose que les informations fonctionnelles soient spécifiquement liées à l'utilisation des objets (e.g., un couteau sert à couper) et donc difficilement généralisables à d'autres objets de la même catégorie surordonnée (e.g., une fourchette). Ainsi, le rôle prépondérant des indices fonctionnels lors de la catégorisation des objets fabriqués ne se vérifie pas dans les études développementale, même lorsque les procédures expérimentales permettent un test direct de l'hypothèse d'une utilisation différentielle des indices visuels et fonctionnels selon le domaine.

Finalement, la distinction selon le domaine d'appartenance des objets ne semble pas la plus pertinente pour expliquer les données développementales. Pour concilier les données adultes et enfants, Kalenine (2008) propose de distinguer les objets selon leur utilisation, et plus précisément selon la manière dont on les manipule. Une élégante expérience en choix forcé (Kalenine & Bonthoux, 2008) permet d'étudier

L'influence respective du type de manipulation et du domaine : les cibles sont soit des objets manipulables naturels (e.g., une tulipe), soit des objets manipulables fabriqués (e.g., une veste), soit des objets non manipulables naturels (e.g., une chèvre), soit des objets non manipulables fabriqués (e.g., un château). Chaque cible (e.g., une veste) est présentée deux fois, une fois avec un associé de niveau de base (e.g., une autre veste) et un non associé (e.g., une cuisinière), une fois avec un associé thématique (e.g., un cintre) et un non associé (e.g., une montgolfière). L'analyse des temps de réponses indique que les enfants de 5 et 7 ans et les adultes sont plus rapides pour identifier les relations thématiques pour les objets manipulables que non manipulables, quel que soit le domaine. A l'inverse, les participants accèdent plus rapidement aux relations taxonomiques de niveau de base pour les objets non manipulables que manipulables. L'avantage des relations thématiques (définies par la contiguïté spatio-temporelle des objets) pour les objets manipulables pourrait refléter la prise en compte d'informations contextuelles alors que l'avantage des relations au niveau de base (définies par la similarité visuelle des objets) pour les objets non manipulables pourrait refléter la prise en compte d'informations perceptives.

Ainsi, l'apparente dissociation objets naturels/objets fabriqués pourrait être induite, au moins en partie, par une différence de manipulabilité des objets³⁸. Notons que considérer une dissociation en termes de manipulabilité plutôt qu'en termes de domaines catégoriels permet d'expliquer le statut spécifique des animaux et des outils, les premiers étant des objets majoritairement définis par des propriétés visuelles stables et peu d'interaction et les seconds par des propriétés visuelles plus instables et de nombreuses interactions. De plus, dans une plus large mesure, concevoir les compétences catégorielles comme reflet de la manipulation des objets, permet d'appréhender la coexistence des relations taxonomiques et thématiques sous l'angle d'une coexistence de processus de traitement. On peut ainsi envisager que les objets manipulables soient préférentiellement catégorisés en considérant les relations

³⁸ Nous verrons dans les chapitres suivants que considérer la manipulabilité des objets permet de concevoir les informations fonctionnelles et visuelles utilisées lors d'activités conceptuelles comme dérivés des expériences antérieures avec les objets.

fonctionnelles et contextuelles et les caractéristiques visuelles alors que les objets non manipulables auraient une représentation plus restreintes incluant principalement des informations liées à leurs caractéristiques visuelles (voir e.g., Kalenine & Bonthoux, 2008 pour une discussion à ce sujet).

Ainsi dès deux ans, les enfants utilisent deux types d'indices, les indices perceptifs, notamment visuels et les indices contextuels en particulier la fonction des objets ainsi que deux types de relations catégorielles, les relations thématiques et les relations taxonomiques. La mise en évidence d'une variabilité inter-individuelle dans l'utilisation préférentielle de ces indices et la possibilité d'entraîner les enfants à détecter un type d'indice par rapport à l'autre, renforce l'hypothèse d'une coexistence de différents processus catégoriels. De plus, l'élaboration des catégories taxonomiques se base sur la prise en compte de la similarité visuelle mais également de la similarité fonctionnelle. Les études chez les adultes proposent que la présence de ces deux indices dans les activités conceptuelles soit liée à leur différence de pondération en fonction du domaine d'appartenance des objets. Les travaux chez l'enfant ne permettent pas d'envisager aussi catégoriquement un lien entre domaine d'appartenance et type d'indice utilisé. Au contraire, la différence de pondération des caractéristiques visuelles et fonctionnelles des objets sous-tendrait l'utilisation préférentielle de la similarité visuelle et fonctionnelle lors des activités conceptuelles, indépendamment du domaine d'appartenance. Ce constat permet d'envisager un rôle de l'expérience avec les objets, en particulier les expériences liées à la manipulation et l'utilisation dans le développement des connaissances conceptuelles. Finalement ces différentes conclusions s'opposent à un développement unitaire des catégories et orientent plutôt vers une conception pluraliste du développement.

2. Modéliser la variabilité des conduites catégorielles des enfants

Nous venons d'établir plusieurs faits concernant le développement des connaissances catégorielles. D'abord, les compétences catégorielles du bébé reposent, selon les modèles, sur la prise en compte de la similarité visuelle et de la similarité

fonctionnelle. Les données obtenues chez l'enfant illustrent une très grande variabilité des conduites tant au niveau interindividuel qu'intra-individuel. En effet, les comportements catégoriels des enfants semblent modulables en fonction de la situation expérimentale, des préférences individuelles, et du type d'objet. Ils semblent se cristalliser autour de deux types de relations, les relations taxonomiques et les relations thématiques, et la détection de deux types d'indices catégoriels : les indices visuels et les indices fonctionnels. Ces différents arguments expérimentaux sont incompatibles avec une approche unitaire du développement des catégories et soutiennent plutôt la pertinence d'une approche pluraliste.

2.1. Une conception pluraliste du développement des catégories

Une approche pluraliste du développement permet de théoriser les variabilités observées et de les considérer non plus comme accidentelles mais comme une source du développement. Cette approche reprend et étend les principes de vicariance biologique exposés par Reuchlin (1978). De même que le déplacement des canards peut se faire selon différentes modalités (la nage, le vol, la marche) mais que certaines contraintes extérieures (e.g., la distance) viennent moduler l'utilisation préférentielle de ces modalités (e.g., pour un grand déplacement le canard va « préférer » voler mais marcher pour un court déplacement), les comportements humains peuvent varier en fonction de contraintes externes. Reuchlin envisage que, dans la plupart des situations, chaque individu dispose de plusieurs processus pour élaborer sa réponse, certains de ces processus étant plus facilement évocables que d'autres, et que, dans une situation donnée, tous les processus ne soient pas également efficaces. Ce modèle général spécifie que la hiérarchie d'évocabilité des différents processus diffère a) d'un individu à l'autre donnant lieu à des différences inter-individuelles et b) d'une situation à une autre, donnant lieu à des différences intra-individuelles. Ainsi, le présupposé de base repose sur la présence d'un répertoire de comportements dans lequel l'individu pourrait « choisir » alternativement celui qui serait le plus adapté. Ce type de modèle est utilisé en biologie animale (Reuchlin, 1978), en psychologie cognitive chez l'adulte (e.g., Isableu, Ohlmann, Crémieux, & Amblard, 1997, 2003) et chez l'enfant (e.g.,

Lautrey, 2003; Siegler & Shipley, 1995). Appliqué au développement de l'enfant, on parle d'approche pluraliste ou différentielle. Par exemple, Siegler envisage qu'au cours de son développement, l'enfant dispose d'un éventail de stratégies pour résoudre un problème. L'adoption d'une stratégie particulière dépendrait des propres préférences de l'enfant, de son expérience antérieure, de l'efficacité de chaque stratégie en fonction du problème spécifique considéré.

En s'inspirant du modèle de vicariance décrit par Reuchlin (Reuchlin, 1978), Lautrey (Lautrey, 1990, 2003) propose que différents processus catégoriels soient disponibles simultanément chez un même enfant. Deux mécanismes au moins permettraient de construire et traiter les catégories : un mécanisme basé sur l'extraction des similarités perceptives et un mécanisme basé sur l'extraction des similarités fonctionnelles. Pour Lautrey, les informations fonctionnelles et visuelles seraient prises en compte par des voies de traitement différentes. Ainsi l'extraction de similarités de natures différentes (i.e., visuelles/perceptives ou fonctionnelles/contextuelles) permettrait à l'enfant d'organiser le monde différemment. Les indices visuels/perceptifs permettraient l'élaboration de catégories taxonomiques et les indices fonctionnels/ contextuels l'élaboration de catégories thématiques. En postulant une pondération de la prise en compte des différents indices³⁹ en fonction de la situation expérimentale, du type d'objet et des caractéristique individuelles, ce modèle pluraliste est à même d'expliquer et de prédire de nombreuses observations.

Dans les tâches d'appariement, les consignes du type « trouve celui qui va avec » induiraient la recherche d'indices relationnels et donc, des comportements catégoriels thématiques. En revanche, les consignes du type « trouve un autre, trouve le même » induiraient la recherche d'indices visuels et donc, des comportements catégoriels taxonomiques. Le même raisonnement peut être tenu en ce qui concerne le nombre de stimuli : alors que la comparaison de plusieurs stimuli (i.e., deux cibles en tâche d'appariement, un plus grand nombre d'items en tâche de tri) mettrait en évidence les indices relationnels et induirait des comportements catégoriels thématiques, la

³⁹ En effet, le modèle ne postule pas une utilisation exclusive d'un indice par rapport à l'autre.

présence d'une seule cible mettrait en évidence les indices visuels et induirait des comportements catégoriels taxonomiques.

Par ailleurs, ce type de modèle semble à même d'expliquer des différences comportementales quant au type d'objet à catégoriser. En effet, la catégorisation des objets naturels, pour lesquels les indices visuels semblent particulièrement saillants, reposerait sur la prise en compte d'indices visuels. En revanche, la catégorisation des objets fabriqués, pour lesquels les indices fonctionnels et visuels semblent pertinents, reposerait sur la prise en compte de ces deux indices, traités de manière non préférentielle.

Si la similarité visuelle/perceptive est l'indice préférentiellement utilisé pour catégoriser les objets naturels et les relations taxonomiques, alors la catégorisation des objets naturels devrait être facilitée lorsque la tâche implique l'élaboration de catégories taxonomiques. Alternativement, si la similarité fonctionnelle/contextuelle est l'indice préférentiellement utilisé pour catégoriser les objets fabriqués et les relations thématiques, alors la catégorisation des objets fabriqués devrait être facilitée lorsque la tâche implique l'élaboration de catégories thématiques. Les travaux réalisés par Kalénine (2008) ont directement testé ces hypothèses. Les résultats obtenus avec des enfants de 3 ans (Etude 1) et des enfants de 5 ans (Etude 2) sont formels : la catégorisation taxonomique des objets naturels (*vs.* objets fabriqués) est facilitée par la prise en compte d'indices perceptifs mais la catégorisation thématique des objets fabriqués (*vs.* objets naturels) n'est pas facilitée par la prise en compte des indices fonctionnels (Kalenine & Bonthoux, 2006). Le modèle pluraliste de Lautrey permet donc d'expliquer seulement en partie les résultats observés.

Les hypothèses formulées peuvent être remises en cause à divers niveaux. Tout d'abord, il est possible que les informations fonctionnelles et visuelles n'impliquent pas des voies de traitement différentes⁴⁰. Ensuite, il est possible que la nature fonctionnelle/contextuelle des relations thématiques implique la prise en compte de

⁴⁰ Cette dernière proposition découle d'une logique d'analyse des différentes hypothèses postulées par le modèle pluraliste. Néanmoins, des travaux réalisés chez l'adulte tendent à montrer, lors de la catégorisation, l'implication de patterns neuronaux différents selon que sont traités des indices perceptifs ou fonctionnels.

différents indices, des indices spécifiques à l'utilisation d'un objet (e.g., un marteau sert à taper), généralisables à quelques relations thématiques (e.g., un clou, un mur) et des indices contextuels plus généraux (e.g., sert à bricoler, se trouve dans la boîte à outils, dans le garage), généralisables à un plus grand nombre d'exemplaires (e.g., les outils). Ainsi une même relation thématique (e.g., marteau-clou) pourrait être traitée de manière spécifique et fonctionnelle et serait alors régie par une relation thématique spécifique ou de manière générale et contextuelle et pourrait alors être régie par une relation thématique plus générale ou surordonnée⁴¹. Finalement, les informations fonctionnelles pourraient ne pas être plus pertinentes que les informations visuelles pour catégoriser les objets fabriqués (voir la section 1 de ce chapitre sur le développement des concepts d'objet fabriqué montrant une corrélation entre caractéristiques fonctionnelles et visuelles des objets fabriqués).

De plus, certains travaux ayant démontré que la fonction des objets est corrélée à leur utilisation et impliquent donc des informations motrices, le modèle de Lautrey pourrait être étendu à la prise en compte d'indices liés à l'action, indices qui seraient utilisés pour catégoriser les objets manipulables (e.g., une pomme, une balle). Nous proposons donc de considérer que les compétences catégorielles des enfants puissent se baser sur la prise en compte d'indices perceptifs et moteurs. Lors de la rencontre avec les objets, ces indices seraient utilisés différemment, pouvant être théoriquement pondérés par la tâche et les préférences individuelles lors du traitement conceptuel. En d'autres termes, les objets pour lesquels les interactions sont majoritairement visuelles (e.g., gros objets non manipulables, une maison, un tigre) induiraient un traitement conceptuel basé majoritairement sur la prise en compte d'indices visuels. En revanche, les objets pour lesquels les interactions sont majoritairement motrices (e.g., petits objets manipulables, une balle, une pomme) induiraient un traitement conceptuel basé surtout sur la prise en compte d'indices moteurs. Si le modèle pluraliste de Lautrey permet avantageusement de faire de telles hypothèses, cette adjonction liant le

⁴¹ Notons que d'après Lautrey la relation marteau-clou, traitée de manière générale ou surordonnée, impliquerait alors l'utilisation d'indices perceptifs censée régir l'établissement des relations catégorielles au niveau surordonné.

traitement conceptuel des objets aux moments de leur rencontre permet de situer le travail de thèse dans un cadre théorique plus large qui propose de concevoir le développement de l'enfant comme résultant d'une interaction entre la situation, les actions effectuées et la perception de certaines caractéristiques des objets.

2.2. Des conduites catégorielles issues d'une interaction entre action, perception, et environnement

La section précédente a permis de montrer qu'une approche pluraliste offre un cadre théorique aux constats de variabilités inter- et intra-individuelle dans les comportements catégoriels des enfants. Ainsi, nous pouvons envisager que la prise en compte des indices visuels et fonctionnels lors d'activités conceptuelles puisse être liée à des caractéristiques des objets explorables dans la vie quotidienne (par exemple le fait qu'ils soient manipulables ou non, perçus avec des rayures etc...). Si le modèle de Nelson (voir Chapitre 1) défend le rôle essentiel des interactions avec les objets dans le développement des comportements catégoriels des enfants, l'approche dynamique propose de théoriser l'ensemble des acquisitions comme émergeant des rapports entre les actions, la perception, et la situation.

Les modèles dynamiques considèrent que la cognition est le résultat d'un ensemble complexe de processus internes (la perception et l'action) liés les uns aux autres qui s'expriment dans un environnement en perpétuel changement (e.g., L. B. Smith, 2005b). En d'autres termes, toute activité cognitive émerge d'un système dynamique complexe qui se définit par l'existence de processus à un moment t , ancrés dans un monde physique (mettant en évidence le rôle de l'interface corps-environnement) et non-stationnaire (le système répond différemment selon le contexte et change en fonction de sa propre activité). Selon nous, certaines contraintes imposées par leurs auteurs aux modélisations dynamiques confèrent un grand intérêt épistémologique à leurs hypothèses. D'abord, cette approche se veut compatible avec le fonctionnement du système nerveux, on parle alors de propriétés neuro-mimétiques des systèmes dynamiques. De plus, elle est ancrée dans une logique mathématique

permettant d'analyser avec le même outil le fonctionnement des systèmes et leurs interactions, et de généraliser les modélisations à un ensemble de conduites.

D'après Thelen et Smith (2006), les systèmes dynamiques reposent sur le principe d'une organisation spatio-temporelle qui émerge de multiples dimensions contraintes par la tâche, la structure de l'organisme et l'environnement. Le comportement dans une tâche donnée résulte d'une auto-organisation du système face aux contraintes. Le système oscillerait entre des périodes de stabilité (lorsque le système a répondu aux différentes contraintes, les différents sous-systèmes sont coordonnés de manière efficiente) et d'instabilité (lorsque le système se trouve face à de nouvelles contraintes, et ne répond plus de manière efficiente) (J. P. Spencer & Thelen, 2003). Les nouveaux comportements émergent alors du fait de l'instabilité du système et résultent en une coordination plus efficiente dans un environnement donné (J. E. Clark, Trully, & Phillips, 1993). Autrement dit, les acquisitions résultent d'un apprentissage du système à réagir aux contraintes par une coordination de ses propres processus. Cette coordination ne nécessite a priori que la redéfinition des paramètres perceptifs (issue des systèmes sensoriels) et d'action (issue des systèmes moteurs) du système global.

L'approche dynamique s'est montrée particulièrement efficace pour modéliser l'acquisition de la reptation puis de la locomotion (J. E. Clark et al., 1993; Goldfield, 1989, 1993). Goldfield (1989) montre que les comportements de reptation chez le bébé résultent de la coordination entre différents paramètres posturo-moteurs tels que l'orientation de la tête, la propulsion du corps par les jambes et le pilotage du corps par les mains⁴². De manière plus générale, l'acquisition de tout acte moteur pourrait être modélisée de manière dynamique (voir e.g., Goldfield, 1993 pour un argumentaire à ce sujet). De plus, des activités caractérisées par l'implication de modalités perceptives comportent des contraintes dynamiques. A travers plusieurs simulations, Schöner et Thelen (2006) montrent que les comportements d'habituation-réaction à la nouveauté sont influencés et dépendent de multiple facteurs tels que le comportement dans les

⁴² Il met en évidence une interdépendance entre l'orientation et le pilotage du corps (la main ipsilatérale à l'orientation de la tête est de plus en plus active) et l'orientation et la propulsion du corps (la jambe controlatérale à l'orientation de la tête est de plus en plus active).

essais précédents, le nombre des essais tests, la complexité des stimuli. Elles concluent que ces comportements catégoriels sont plutôt le résultat d'interactions entre système attentionnel, perceptif et système d'action. Certains auteurs proposent également que si le système à l'origine des actions et celui à l'origine de la perception se développent selon les contraintes dynamiques, l'interaction entre les deux sous-systèmes sous-tend l'acquisition des comportements langagiers, mnésiques (e.g., Thelen & Smith, 2006; Van Geert, 1991). L'acquisition des connaissances pourrait alors résulter de l'activité du corps (perception et action) dans un environnement donné (L. B. Smith, 2005b).

L'importance de prendre en compte les relations entre perception, action, et environnement est également défendue par les modèles connexionnistes, en particulier en ce qui concerne le rôle de l'expérience, la prise en compte des contraintes biologiques et du développement neuronal (voir e.g., Thelen & Bates, 2003 pour un argumentaire sur les similarités entre ces deux conceptions). Par exemple, certaines modélisations connexionnistes proposent que les compétences catégorielles émergent des interactions entre l'individu et les stimuli à traiter (e.g., Mareschal & French, 2000). Brièvement, les suggestions des modèles dynamiques peuvent être également rapprochées des positions récentes dites neuro-constructivistes. Celles-ci suggèrent que les compétences catégorielles sont des configurations d'activité neuronale qui reflètent en partie les états dans le monde et sont liées à la maturation de l'organisme et à ses propres actions dans l'environnement. Le courant neuro-constructiviste postule également une auto-organisation de l'organisme : l'activité neuronale génère des comportements adaptés à l'environnement, modifiant en retour l'activité neuronale.

2.3. Mise en perspectives avec les positions énaactives, incarnées

Les sections précédentes proposent de théoriser les comportements catégoriels de l'enfant selon un cadre pluraliste, nous amenant à envisager que le développement et l'organisation des connaissances soient intimement liés aux expériences réelles avec les objets. De telles positions s'accordent avec une approche neuro-constructiviste générale du développement telle que suggérée par les modélisations dynamiques.

D'un point de vue théorique, les connaissances émergeraient des interactions de l'individu avec son environnement (L. B. Smith & Gasser, 2005). A partir de six exemples issus d'observations de la vie quotidienne, les auteurs montrent que les connaissances émergent d'actions spontanées dont la reproduction est conditionnée par le bénéfice et l'attrait du résultat de l'action (voir également L. B. Smith & Breazal, 2007). La position dynamique défendue par Thelen et Smith (2006) et leurs collaborateurs propose une vision de l'acquisition des connaissances dénuée de processus d'abstraction. Ces auteures proposent que chaque situation, dès la naissance (e.g., téter au sein), induise un pattern d'activation perceptif lié à différentes composantes de la situation (incluant par exemple, les mouvements de la langue et des lèvres du bébé, la position globale de son corps, le goût du lait, l'odeur de la mère, sa voix, etc.). Ces perceptions, du fait de leur simultanéité, activeraient ensemble des groupes de neurones particuliers. La répétition des épisodes de nourrissage similaires mais jamais identiques impliquent alors la création de groupe de neurones chevauchant les précédents. Des caractéristiques communes, créant alors de nouvelles relations sont extraites de ces différentes expériences vécues. Par exemple, le fait d'entendre régulièrement « c'est l'heure de manger » avant le nourrissage résultera en l'inclusion de cette caractéristique dans le pattern d'activation neuronale. De même, si le sein est remplacé par un biberon, le schéma « l'heure de manger » pourra inclure un biberon et ainsi de suite. Finalement, les connaissances liées au nourrissage seront toutes empreintes de simultanéité de différentes boucles perception-action (voir également la théorie proposée par Edelman, 1987).

Positionner le développement des catégories comme un cas particulier de système dynamique revient à considérer les représentations conceptuelles comme une réémergence des sollicitations neuronales précédemment émises. Finalement, ce que l'enfant pense, perçoit et fait dans le présent n'est que l'introduction de ce qu'il sera dans le futur, exactement de la même manière que, ce qu'il a fait dans le passé

constitue le substrat de ce qu'il est »⁴³. Concevoir le développement catégoriel comme résultat de la coordination des différents systèmes perceptifs et moteurs, permet de faire l'hypothèse que la manière dont les enfants agissent avec les objets orientera la découverte de certaines régularités (i.e., des propriétés communes et distinctives) des objets. Deux hypothèses comportementales peuvent être considérées à partir de ces réflexions théoriques. La première concerne les composantes sensorielles et motrices des concepts d'objet, et la seconde le rôle de l'expérience dans l'établissement des concepts d'objet. Peu de travaux chez l'enfant testent directement ces hypothèses. Néanmoins, elles sont très proches, voire similaires, à celles formulées par les positions incarnées chez les adultes.

3. L'approche incarnée de la cognition chez les adultes

Dans cette section, nous présentons deux théories, plus ou moins récentes, qui ont envisagé un rôle prépondérant des informations sensorielles et motrices dans le comportement cognitif et notamment, dans les comportements catégoriels des adultes. Outre le fait de lier les activités conceptuelles aux objets et aux situations auxquelles elles réfèrent, ces différentes approches proposent une vision modale des connaissances. Une telle approche ne faisant pas forcément l'unanimité (voir e.g., Mahon & Caramazza, 2008 pour une perspective représentationnelle des mêmes comportements), il convient dans un premier temps de situer ces approches dans l'ensemble des travaux réalisés en psychologie cognitive. Ensuite nous verrons que ce type d'approche permet de formuler des hypothèses sur l'implication des systèmes perceptifs et d'action dans le traitement conceptuel, hypothèses qui pourraient permettre d'appréhender sous un autre angle le développement des catégories.

⁴³ « What the infant sees, thinks, and does in the present provide the aliment for what the child is in the future, just as what the child did in the past is the substrate for how he or she sees, thinks, and acts right now. » Thelen & Smith, 2006, p 285.

3.1. Un cadre théorique entre cognitivisme et connexionnisme

« Il n'est pas de nos actes qui, en créant l'homme que nous voulons être, ne crée en même temps une image de l'homme tel que nous estimons qu'il doit être. »⁴⁴ Cette citation répond au problème de la relation entre le corps et l'esprit, problème déjà mis en évidence par Platon. L'approche dualiste considère l'âme et le corps comme deux entités distinctes, l'expression corporelle étant déterminée par les mouvements de l'âme. C'est la position énoncée par Descartes : « Je pense donc je suis ». Néanmoins une autre conception suggère que « L'homme n'est rien d'autre que la série de ses actes »⁴⁵. Cette tradition philosophique rassemble ceux qui, de Kant à Heidegger ou Kierkegaard ont tenté de conceptualiser la primauté des actes et sensations dans la définition de l'être humain. La psychologie cognitive qui tente sous certains points de vue d'explicitier le lien entre comportements et activités mentales se confronte également à cette dissociation.

Le courant cognitiviste utilise la métaphore computationnelle pour expliquer le fonctionnement cognitif. La cognition est alors définie comme des opérations logiques sur des représentations symboliques (voir par exemple les travaux de Noam Chomski sur la grammaire universelle). L'accès à ces représentations symboliques est consécutif à l'activation suffisante de neurones à seuil. Une fois activées, les représentations sont le lieu des inférences et processus cognitifs. Ainsi, la pensée possède sa propre organisation : les représentations sont amodales et abstraites, organisées en système de symboles et dissociées des entrées perceptives et motrices (Fodor, 1983).

A l'opposé, le courant connexionniste considère le fonctionnement cognitif selon la métaphore du réseau de neurones (voir les travaux de Minsky, par exemple). Ces théories basées sur les recherches en cybernétique et en neurobiologie postulent que les activités cognitives soient le résultat d'un système coopératif de neurones individuellement simples et inintelligents. Cette approche suppose un fonctionnement distribué des connexions neuronales ; celles-ci se modifient en fonction du

⁴⁴ Sartre, J.P., *L'existentialisme est un humanisme*, 1946, réédition Gallimard, coll. « Folio essais », 1996

⁴⁵ Hegel, *Encyclopédie des sciences philosophiques*, 1817

déroulement des expériences et permettant l'émergence d'une organisation cohérente (Hebb, 1949). Cette approche est parfois qualifiée d'a-représentationnelle puisqu'aucune structure abstraite n'émerge des expériences.

Enfin, l'approche éactive, considère le cognitivisme et le connexionnisme comme complémentaires (Noé, 2004; Varela, Thomson, & Rosch, 1991). Le concept d'éaction, proposé initialement par Bruner (1966), a été repris dans les sciences cognitives par Francisco Varela, biologiste, neurologue et philosophe. Ce dernier considère les symboles (tels que décrit par les cognitivistes) comme « une description de niveau supérieur de propriétés qui se trouvent, en dernière instance, enracinées dans un système distribué sous-jacent » (Varela et al., 1991). La théorie de l'éaction propose que les activités cognitives dépendent de la coexistence des systèmes sensoriels et moteurs dans un environnement. Cette approche suppose des liens entre processus moteurs et sensoriels fondamentalement inséparables et interagissant entre eux. De ces interactions entre perception, action, et environnement émerge la cognition. La perception dépend alors des actions effectives dans un environnement : l'environnement est modelé par les systèmes qui le perçoivent et qui agissent sur lui, tout comme il modèle les possibilités d'action et de perception. La cognition est alors considérée comme incarnée, puisqu'elle « émerge de notre couplage structurel avec l'environnement » et dépend donc des actions et sensations expérimentées (Varela et al., 1991). Notons que cette notion d'émergence rappelle celle modélisée par les systèmes dynamiques.

3.2. Le renouveau de l'approche incarnée : de la philosophie à la mise en évidence d'un substrat neurophysiologique.

Si le point de vue de Varela a été longtemps perçu comme une approche philosophique des sciences cognitives, on observe un renouveau dans l'utilisation de cette approche (Thompson & Zahavi, 2007). En effet, considérer la cognition comme incarnée semble un cadre approprié pour des champs d'études aussi variés que la perception visuelle (e.g., la perception des distances Witt & Proffitt, 2008), le langage (e.g., Fischer & Zwaan, 2008; Glenberg et al., 2008), la résolution de problèmes (e.g.,

Richardson & Spivey, 2000), les émotions (e.g., Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber, & Ric, 2005; Niedenthal, Winkielman, Mondillon, & Vermeulen, 2009), la cognition sociale (e.g., Di Paolo, Rohde, & De Jaegher, 2011) ou l'intelligence artificielle (e.g., Froese & Ziemke, 2009). Les données issues de divers champs d'études sont autant d'arguments en faveur d'une cognition incarnée.

Il paraît important de souligner que, bien que le cadre incarné reçoive de plus en plus d'arguments au niveau expérimental, de nombreuses questions théoriques sur le « type de cognition incarnée » se posent (Kiverstein & Clark, 2009; Wilson, 2002). On peut citer de manière non exhaustive les débats concernant la manière dont les processus sensoriels et moteurs interagissent entre eux (A. Clark & Chalmers, 1998; O'Regan & Noé, 2001), ou ceux concernant l'unicité des processus d'incarnation (Prinz, 2006; Wilson & Knoblich, 2005) ou même ceux concernant la causalité des systèmes sensori-moteurs sur l'environnement (A. Clark, 2008). L'intérêt ici n'est pas d'entrer dans ces différents débats mais plutôt de mettre en évidence que l'approche incarnée de la cognition reçoit de plus en plus d'adhésion et induit la formulation de questionnements qu'une approche amodale ne permettrait pas.

L'engouement pour une approche incarnée de la cognition est sûrement lié à la découverte, dans les années 1990, de cellules visuo-motrices dans des régions pré-motrices du cortex cérébral du singe macaque (e.g. Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese, & Rizzolatti, 1992; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, & Fogassi, 1996). Ces cellules, nommées « neurones miroirs » (NM) en vertu de leurs propriétés perceptives et motrices conjointes (i.e., elles s'activent lors de l'observation et de l'exécution de différentes actions (Rizzolatti et al., 1996; Umiltà et al., 2008)) s'organisent en véritable système miroir (Bonini et al., 2010; Caggiano et al., 2011; Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008; Rizzolatti & Sinigaglia, 2010). Chez l'être humain, de nombreuses études en neuroimagerie suggèrent la présence d'un système miroir similaire à celui des primates (voir Grèzes & Decety, 2001 pour une méta-analyse des régions impliquées dans le système miroir; et Iacoboni et al., 2005 ou; Rizzolatti & Craighero, 2004 pour des

revues de questions sur les NM)⁴⁶. Une étude menée chez des patients épileptiques implantés en pré-chirurgical a permis d'enregistrer l'activité conjointe de neurones aussi bien lors de l'exécution d'actions que lors de l'observation de ces mêmes actions (Mukamel, Ekstrom, Kaplan, Iacoboni, & Fried, 2010). De plus, les progrès scientifiques en traitement du signal permettent d'appuyer fortement l'existence d'un système de résonance motrice chez l'homme (e.g. Gazzola & Keysers, 2009) au niveau du lobe temporal (Hamilton & Grafton, 2006; Shmuelof & Zohary, 2005), du gyrus frontal inférieur (Chong & Mattingley, 2009) et du lobule pariétal inférieur (Dinstein, Hasson, Rubin, & Heeger, 2007; Kilner, Neal, Weiskopf, Friston, & Frith, 2009). On notera également que des études en EEG démontrent l'existence d'un système miroir chez les enfants tout venants (Lepage & Théoret, 2006) et chez une enfant épileptique (Fecteau et al., 2004). Il semble même que le système miroir soit fonctionnel dès la naissance (Lepage & Théoret, 2007).

Les caractéristiques des co-activations neuronales : sélectivité à une action (pour une revue, voir Fadiga, Craighero, & Olivier, 2005), pluri-modalité (Keysers et al., 2003; Kohler et al., 2002) et organisation somatotopique similaire à celle de l'homuncule moteur de Penfield (Buccino et al., 2001) suggèrent que l'activité des NM n'est pas liée à un artefact moteur, mais plutôt à la réactivation d'épisodes moteurs perçus dans leur ensemble (e.g. Fogassi et al., 2005; Rizzolatti & Craighero, 2004; Rizzolatti & Sinigaglia, 2010). De plus, de nombreuses études montrent de façon éloquente l'existence d'un important chevauchement dans les réseaux neuronaux sollicités lors d'expériences directes d'événements sensoriels (Schaefer, Xu, Flor, & Cohen, 2009), nociceptifs (Jackson, Rainville, & Decety, 2006), moteurs (Gazzola & Keysers, 2009) ou émotionnels (Iacoboni, 2009). Les neurones miroirs grâce à leurs propriétés visuo-motrices pourraient constituer un substrat neuronal à l'unification des mécanismes perceptifs et moteurs suggérée par les conceptions incarnées.

⁴⁶ Ces études utilisent des techniques aussi diverses que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), la tomographie par émission de positons (TEP), la magnétoencéphalographie (MEG), la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) et l'électro-encéphalographie (EEG).

3.3. Modélisation dynamique et perspective incarnée des connaissances : la problématique de l'instanciation

Nous avons souligné que l'approche incarnée de la cognition et l'approche dynamique du développement permettent de formuler deux hypothèses similaires quant au rôle des informations sensorielles et motrices dans les comportements. Les propriétés du système de résonance apportent un poids certain à ces hypothèses. La première concerne l'implication lors de toutes tâches cognitives de composantes sensorielles, motrices et émotionnelles. Là où l'approche incarnée postule une simulation des épisodes antérieurs, l'approche dynamique suggère un rééquilibrage des systèmes perceptifs et d'actions via la création de structures coordinatrices. Les NM organisés en système de résonance motrice reflétant un mécanisme simple d'association des stimuli perçus avec leur contenu sémantique, social et émotionnel (Dinstein, Thomas, Behrmann, & Heeger, 2008) pourraient alors jouer le rôle de structures coordinatrices.

Une autre hypothèse de l'approche incarnée concerne l'ancrage des activités cognitives dans les épisodes antérieurs⁴⁷. Là encore, les propriétés des neurones miroirs semblent corroborer cette présomption : de nombreuses études mettent en évidence l'influence de l'expérience sur l'activation du système moteur (e.g., Calvo-Merino, Grèzes, Glaser, Passingham, & Haggard, 2006; Cross, Hamilton, & Grafton, 2006; Margulis, Mlsna, Uppunda, Parrish, & Wong, 2009). Plus précisément, les expériences sensori-motrices récentes peuvent augmenter (Press, Gillmeister, & Heyes, 2007), supprimer (Heyes, Bird, Johnson, & Haggard, 2005) ou renverser (Catmur et al., 2008) les mécanismes de résonance motrice. De plus, l'expertise de l'individu module l'activité des neurones miroirs (Calvo-Merino, Glaser, Grèzes, Passingham, & Haggard, 2005). Par exemple, observer quelqu'un jouer du piano entraîne une activité du système miroir plus importante chez des pianistes que chez des non pianistes (Haslinger et al., 2005). Le système miroir mature aurait alors comme principale

⁴⁷ Les systèmes dynamiques n'explicitent pas clairement ce point, mais en supposant un perpétuel ajustement du système, les comportements générés sont forcément empreints des expériences antérieures.

fonction de relier les expériences antérieures aux perceptions actuelles (Heyes, 2010). Ainsi, le système miroir apparaît comme étant à la fois un produit et un ajustement des associations sensori-motrices. De plus, Del Giudice et collaborateurs (Del Giudice, Manera, & Keysers, 2009) suggèrent que le système miroir se développe à partir des apprentissages sensori-moteurs, une assertion qui n'est pas sans rappeler celle des modélisations dynamiques. Ainsi les caractéristiques supposées du système miroir nous permettent de considérer comme équivalentes les visions sensori-motrices de l'être humain proposées par les approches incarnées et dynamiques. Ces deux approches permettent en effet d'appréhender l'humain comme un produit de ses interactions avec l'environnement, via ses perceptions et ses actions.

Un des challenges de l'approche incarnée consiste à expliquer la manière dont nous appréhendons le monde qui nous entoure. En effet, en supposant que le fonctionnement cognitif est le produit des interactions entre nos expériences sensorielles, motrices et l'environnement dans lequel elles s'opèrent, l'approche incarnée postule que notre perception est en perpétuelle construction. Or le monde nous apparaît comme étant cohérent : quand nous rencontrons un objet, nous sommes capables de le considérer comme inconnu ou connu et, le cas échéant, nous l'identifions, le nommons alors même que l'épisode de rencontre est nouveau et différent. De même, nous pouvons réaliser des opérations mentales sur des objets en leur absence : je n'ai pas besoin de percevoir une pomme dans mon environnement pour expliquer comment faire une tarte aux pommes. Mon interlocuteur lui non plus n'a pas besoin de percevoir une pomme pour comprendre ladite recette. On réfère à ce problème sous le nom de « symbol grounding problem » (Harnad, 1990).

Pour Harnad, ce problème rend nécessaire l'existence de symboles, c'est-à-dire de référents invariants construits à partir de perceptions différentes. Si l'existence des représentations permet aux modèles cognitivistes de répondre en partie à ce problème (mais voir par exemple, Taddeo & Floridi, 2005 pour des arguments contraires), il semble très difficile de modéliser le fonctionnement cognitif sans ces symboles. En postulant que le sens émerge des interactions entre systèmes perceptifs guidés par l'action et environnement, l'approche incarnée neutralise la nécessité des

représentations. Deux propositions vont être développées : celle de Gibson où les symboles invariants sont constitutifs du mécanisme de perception lui-même et celle de Barsalou où un mécanisme de simulation permet de recréer les perceptions antérieures en l'absence des objets.

3.4. Deux propositions théoriques : la théorie écologique de la perception (J. J. Gibson, 1986) et la théorie des symboles perceptifs (Barsalou, 1999)

Dans sa théorie écologique de la perception, Gibson (J. J. Gibson, 1966, 1977, 1986) suggère que le sens émerge de la triangulation entre la perception, l'action et l'environnement. Pour cet auteur, la perception constitue un moyen d'adaptation qui s'inscrit dans l'interaction réciproque entre l'organisme vivant et son environnement. De cette réciprocité, émergent les processus perceptifs. Les processus perceptifs seraient ainsi indissociables des actions, les informations résultant de ce que l'organisme fait émerger de l'environnement par le biais de ces actions et de ce qu'il en saisit en retour. Gibson propose que dans cette interaction, les systèmes perceptivo-moteurs capturent ce qu'il y a d'invariant dans ces informations en dépit des modifications spatio-temporelles. Les invariants spécifient donc directement les propriétés utiles des objets ; ce qui est perçu constitue déjà la signification de l'objet. Cette signification n'existe pas en soi, elle n'est ni une propriété de l'organisme, ni une propriété de l'environnement mais une propriété du système environnement-organisme. C'est ainsi que Gibson définit le concept d'affordance : les informations significatives sont perçues en termes de possibilités d'action sur l'environnement. Ainsi, nous ne percevons le monde que dans ce qu'il « afforde » pour nous : nous ne percevons pas des pommes, des armoires, des marteaux, mais des choses pour nous nourrir, ranger, taper.

Gibson précise que l'organisme peut ou non percevoir une affordance en fonction de ses besoins mais que celle-ci sera toujours là pour être perçue. Par exemple, le fait que l'on puisse s'asseoir sur un muret ne sera perçu que par un individu ayant besoin de s'asseoir ; le fait de passer à côté du muret sans avoir besoin de s'asseoir ne l'empêche pas d'être un siège potentiel. Il faut néanmoins noter que la potentialité

d'action sur l'environnement ne peut être perçue que si l'individu à au préalable expérimenté les diverses potentialités.

Plus récemment, dans sa théorie des symboles perceptifs, Barsalou (1999) théorise la manière dont les invariants sur les objets sont pris en compte et permettent des opérations mentales, telle que l'identification, la dénomination, la classification. Ce modèle est actuellement incontournable car il propose un cadre solide pour modéliser les activités conceptuelles, en ne supposant pas de stockage abstrait. A l'instar des théories incarnées de la cognition, il propose que les connaissances conceptuelles soient dérivées des perceptions et actions effectives, et tente de proposer des mécanismes neuro-mimétiques.

Barsalou décrit dans un premier temps l'activité neuronale effective lors de la rencontre avec un objet. Chaque rencontre induit des activations neuronales dans les aires sensorielles. Les informations sensorielles se trouvent alors distribuées dans les aires sensorielles correspondantes. Par exemple, les activations visuelles sont distribuées dans les aires visuelles, certains neurones codant les contours des objets, d'autres leur couleur, et d'autres encore leur orientation. Chaque stimulation perçue induit donc un pattern d'activation relatif à la modalité sensorielle d'entrée et ce, dans chaque aire sensorielle ; ce pattern d'activation est appelé représentation. Il existe donc des représentations visuelles, auditives, olfactives, proprioceptives, kinesthésiques, émotionnelles, etc. co-activées en permanence.

Parallèlement à cette activation, des neurones associatifs (les *conjunctive neurons*) capturent ces représentations. Simmons et Barsalou (2003) suggèrent que les aires associatives permettent l'implémentation de symboles perceptifs correspondant aux configurations d'activations intra-modales, mais aussi intermodales. Ensuite, les liaisons réciproques entre les aires sensorielles et les aires associatives permettraient de recréer, à partir des symboles perceptifs, les configurations d'activations en l'absence de stimulations sensorielles. D'après Barsalou, les connaissances conceptuelles seraient la conséquence de configurations d'activations très similaires se chevauchant et implémentant des symboles perceptifs communs, les simulateurs. Ces simulateurs ne contiennent pas la totalité des activations mais une configuration particulière des

activations. La simulation induite lors du traitement conceptuel de l'objet correspondrait à ce qui est commun entre les différents épisodes de rencontre des exemplaires d'une catégorie.

Cette théorie suggère donc que l'accès à un concept correspond à la simulation des épisodes de rencontre avec les objets et que l'acquisition des connaissances conceptuelles résulte des similarités entre les différents épisodes de rencontre. Ceci implique *de facto* que les simulateurs ne donnent pas toujours lieu à la même simulation. De plus, le traitement conceptuel dépend non seulement de la diversité des épisodes antérieurs mais aussi de la situation d'évocation du concept. L'évocation d'un concept d'objet, ainsi enracinée dans l'expérience sensori-motrice, devient un processus de simulation de perceptions enregistrées et disponibles sous forme de traces épisodiques (Barsalou, Simmons, Barbey, & Wilson, 2003). Les connaissances conceptuelles se définissent alors par leur caractère multimodal et situé. Elles sont multimodales car constituées de perceptions sensorielles et motrices issues des modalités tactiles, proprioceptives, olfactives, gustatives, visuelles, auditives, émotionnelles. Elles sont également situées car les propriétés caractérisant un objet varient selon la situation d'évocation de l'objet. En effet, pour un même objet, la situation d'évocation peut se centrer sur différentes modalités de perception (Barsalou, 2005a). Ainsi selon cette approche, les simulations motrices mises en évidence par les travaux sur les neurones miroirs ne seraient pas restreintes à l'observation d'action, mais influenceraient de manière plus générale la manière dont les individus perçoivent, comprennent et interprètent le monde environnant. L'approche incarnée telle que définie par Barsalou repose sur deux hypothèses : l'existence de simulations sensori-motrices lors du traitement conceptuel et l'ancrage de ces simulations dans l'expérience directe avec les objets.

Les activités conceptuelles peuvent regrouper un ensemble de tâches plus ou moins bien définies. Si l'on considère, de manière très générale, un concept comme une collection de caractéristiques relatives à une entité, l'utilisation de ces caractéristiques ou connaissances peut embrasser tout aussi bien l'identification d'un objet ou l'imagination de choses jamais vécues. Considérons notre simple présence dans un

environnement donné (e.g., une salle de classe), les connaissances conceptuelles étayent la perception de cet environnement en nous permettant de re-connaître les entités qui le composent (e.g., des chaises en bois, un bureau en fer, une trousse, des stylos, du papier peint etc...). De même l'organisation de notre système conceptuel permet d'assigner ces perceptions à différentes catégories (e.g., les meubles, les fournitures scolaires, etc...) et éventuellement de leur faire bénéficier des connaissances relatives aux autres membres de la catégorie. Ainsi les connaissances conceptuelles sont parties prenantes de diverses activités cognitives telles que la mémoire ou le langage. Les tâches mnésiques et langagières ont en commun l'analyse d'une situation non-présente impliquant l'abandon temporaire de l'analyse de l'environnement présent (Glenberg, Schroeder, & Robertson, 1998). En mémoire, les connaissances conceptuelles contribuent à l'élaboration du contenu lors de l'encodage, à son organisation lors du stockage et à la reconstruction d'inférences lors de la récupération (e.g., Barsalou, 2003b). En langage, les connaissances conceptuelles contribuent à l'élaboration et à la récupération du sens. La perspective incarnée postule une nature sensori-motrices des activités cognitives, c'est-à-dire que le fonctionnement général de l'individu se base sur les connaissances issues de ses expériences sensori-motrices (Glenberg, 2010). D'après Barsalou (1999), la nature sensori-motrice des connaissances se reflète dans l'existence de simulations d'activations sensorielles et motrices. Ces simulations devraient donc sous-tendre les processus mnésiques et langagiers généraux.

De manière générale, les approches incarnées fournissent un cadre approprié pour étudier le lien entre perception et action dont nous avons suggéré qu'il puisse expliquer les variabilités observées dans le comportement catégoriel des enfants. En ce qui concerne la connaissance conceptuelle, deux théories supposent une adaptation de l'individu à son environnement et une prise en compte des informations sensorielles et motrices lors du traitement conceptuel. Néanmoins, l'approche de Gibson suggère que la pertinence de ces informations soit constitutive de l'objet et dépende de la configuration individu-environnement-objet à un moment donné. L'approche de Barsalou suggère, quant à elle, que ces informations sont pertinentes pour le concept

parce qu'elles ont été encodées lors de la rencontre avec les objets. L'hypothèse d'un ancrage des connaissances dans l'expérience réelle avec les objets paraît cruciale d'un point de vue développemental car elle permet de considérer le développement de l'enfant comme à la fois source d'accroissement des informations relatives à l'expérience, mais aussi comme source de pondération des attributs au cours des différentes rencontres avec les objets, fournissant un cadre explicatif cohérent quant à l'utilisation de certains indices en fonction du type d'objet (manipulables *vs.* non manipulables). Nous allons, dans les chapitres suivants, présenter les différents résultats expérimentaux en faveur de l'existence de simulations sensori-motrices lors du traitement conceptuel. Nous verrons par la suite les arguments, moins nombreux, en faveur d'un ancrage des connaissances dans l'expérience réelle avec les objets.

Chapitre 3. L'IMPLICATION DES SYSTEMES SENSORI-MOTEURS LORS DU TRAITEMENT CONCEPTUEL

D'après Barsalou (1999), la nature sensori-motrice des connaissances provient de l'existence de simulations sensorielles et motrices reflétant les configurations d'activations liées aux interactions avec les objets. Ces simulations devraient donc sous-tendre les processus mnésiques et langagiers généraux⁴⁸. C'est pourquoi, ce chapitre emprunte des résultats issus de divers champs de la psychologie cognitive afin d'interroger l'existence des simulations sensori-motrices lors du traitement conceptuel. Nous allons d'abord présenter des travaux qui suggèrent un lien direct entre les activités perceptives ou motrices et les activités cognitives impliquant l'utilisation de concepts. Nous nous attacherons ensuite à montrer que le système conceptuel présente des caractéristiques similaires aux systèmes perceptifs et moteurs. Finalement, nous considérerons la possibilité que les actions effectuées sur les objets induisent la prise en compte d'informations motrices liées à la fois à la forme globale des objets et à leur utilisation. En effet, nous concentrer sur l'influence des actions lors du traitement conceptuel permet d'envisager l'hypothèse d'un ancrage des connaissances dans les actions effectives.

La perspective incarnée permet de postuler que les informations utilisées par les enfants pour catégoriser soient ancrées dans les situations d'interaction avec les objets. Si d'un point de vue développemental, cette proposition s'accorde avec la suggestion que les actions constituent le ciment des différentes expériences (Nelson, 1983), elle permet également d'expliquer la prise en compte de différents indices chez les enfants, la pondération des indices fonctionnels/contextuels et visuels/perceptifs pouvant être liée à des différences de disponibilité de ces indices lors de la rencontre avec les objets.

⁴⁸ En ce qui concerne les activités langagières, nous distinguerons le traitement des phrases, impliquant une représentation de l'ensemble des mots, du traitement des mots isolés que nous considérerons comme les représentants de concepts.

1. Arguments en faveur de l'existence de simulations sensorielles et motrices

Dans cette section, nous allons d'abord présenter des travaux issus du domaine du langage mettant en évidence une implication des systèmes sensoriels et moteurs lors de la compréhension de phrases. Nous montrerons ensuite, par le biais d'études utilisant un paradigme de vérification de propriété, que les simulations sous-tendent les liens entre les concepts et les propriétés qui leur sont attachées. Enfin nous verrons que les concepts eux-mêmes sont organisés entre eux par des liens sensori-moteurs. Ces travaux nous permettront d'envisager le rôle spécifique des actions sur les objets. Nous distinguerons en particulier les actions liées à la préhension des objets de celles liées à leur utilisation.

1.1. Comprendre une phrase : une simulation du contenu perceptif et moteur

Le langage, et plus précisément la compréhension de phrases ou de textes, requiert un traitement du contenu représentationnel des mots dans un contexte particulier (Fischer & Zwaan, 2008). Certaines phrases sont porteuses de caractéristiques sensorielles ou motrices. Elles pourront par exemple avoir une connotation visuelle (e.g., le ciel est bleu), auditive (e.g., la musique est trop forte), olfactive (e.g., quelle bonne odeur de fraises), tactile (e.g., il caresse le chat), gustative (e.g., il y a beaucoup de cannelle dans la tarte) ou motrice (e.g., elle tape dans le ballon). Ces connotations peuvent être portées par un des mots (e.g., l'adjectif bleu, les verbes caresser ou taper) ou un ensemble des mots (la musique est trop forte, beaucoup de cannelle), le contexte ajoutant éventuellement une connotation supplémentaire à certains mots ou contribuant à les désambigüiser. Par exemple, la phrase « elle tape dans le ballon de foot » implique une action motrice réalisée vraisemblablement avec un pied, mais lors de l'écoute, les premiers composants de la phrase « elle tape... » ne permettent pas d'anticiper la réalisation motrice dans son ensemble : il pourrait tout aussi bien s'agir de taper « sur un clavier », « avec un marteau », etc. Utiliser des phrases comme matériel expérimental permet donc de manipuler les composantes sensorielles et motrices qui leur sont associées. Si la compréhension de phrases

implique une simulation de leur contenu perceptif et/ou moteur, c'est-à-dire emploie les mêmes substrats neuronaux que les perceptions ou actions effectives, on devrait observer une interférence entre la compréhension d'une phrase décrivant une forme spécifique ou une action et la perception d'une image ou l'exécution d'une action correspondant au contenu visuel ou moteur.

La modulation du traitement d'une image par la lecture au préalable d'une phrase met en évidence l'implication du système visuel lors de la compréhension de phrase (Zwaan, Stanfield, & Yaxley, 2002). Plus précisément, les temps d'identification (Expérience 1) et de dénomination (Expérience 2) de l'image sont plus rapides lorsque la forme explicite de l'objet (e.g., une image d'un aigle aux ailes déployées) est compatible avec la forme suggérée par la phrase précédente (e.g., « Le garde forestier voit un aigle dans le ciel ») que lorsqu'elle est incompatible (e.g., « Le garde forestier voit un aigle dans un nid »). Le contenu perceptif simulé concerne différents indices visuels tels que le mouvement implicite d'un objet (Zwaan, Madden, Yaxley, & Aveyard, 2004), son orientation (Stanfield & Zwaan, 2001) ou la partie du champ visuel où une scène a lieu (Bergen, Lindsay, Matlock, & Narayanan, 2007). Cet effet de compatibilité signant la simulation du contenu implicite de la phrase a été récemment mis en évidence, avec des stimuli similaires, chez les enfants de 7 à 13 ans (Engelen, Bouwmeester, de Bruin, & Zwaan, 2011). De plus, les effets de compatibilité entre forme lue et forme vue mis en évidence par Pecher, Van Dantzig, Zwaan et Zeelenberg (2009) dans une procédure proposant successivement une phase de vérification des phrases et une phase de reconnaissance d'image⁴⁹ suggèrent que ces simulations visuelles font partie du processus mnésique.

Selon la même logique, de nombreuses expériences faisant varier la correspondance entre l'action induite par une phrase et celle exécutée pour répondre permettent de tester l'hypothèse d'une simulation du contenu moteur des phrases (e.g. Glenberg & Kaschak, 2002; Glenberg et al., 2008; Zwaan & Taylor, 2006). Dans ces expériences, les participants entendent (e.g., Zwaan & Taylor, 2006) ou lisent (e.g.,

⁴⁹ Dans la deuxième phase, les participants doivent indiquer, pour chaque image, si l'objet a déjà été présenté dans une des phrases.

Glenberg & Kaschak, 2002) une phrase impliquant une action (e.g., « Ferme le tiroir »). Le jugement de signification de cette phrase s'effectue en réalisant une action compatible (e.g., appuyer sur un bouton juste devant) ou incompatible (e.g., appuyer sur un bouton juste derrière) avec le contenu de la phrase entendue⁵⁰. Ce jugement est plus rapidement effectué pour des phrases compatibles que pour des phrases incompatibles. Cet effet de compatibilité, ou *Action-Sentence Compatibility Effect* (ACE) (Glenberg & Kaschak, 2002), entre action réalisée et action induite par la phrase est alors interprété comme résultant d'une simulation motrice du geste induit par la phrase lors de la compréhension. La généralisation des résultats à des phrases décrivant des mouvements concrets (e.g., « Marco t'apporte la pizza ») ou abstraits (e.g., « Anna te délègue ses responsabilités ») (e.g., Glenberg & Kaschak, 2002), et à des actions de type transfert (e.g., Glenberg & Kaschak, 2002) ou rotation (Zwaan & Taylor, 2006) suggère une simulation de toutes les actions potentielles véhiculées par la phrase. En effet, le cortex moteur est impliqué lors de la vision d'un mot d'action enchâssé dans une phrase concrète, mais pas dans une phrase idiomatique⁵¹ (Raposo, Moss, Stamatakis, & Tyler, 2009). L'implication du système moteur ne reflète pas une simple co-activation des composantes motrices mais bien l'accès à la compréhension de l'action.

De plus, les simulations motrices relatives au traitement du contenu de la phrase sont contraintes par la possibilité d'effectuer réellement les actions. Une phrase impliquant deux fois le même système sensori-moteur est comprise plus rapidement lorsqu'elles suggèrent une exécution séquentielle « Après avoir découpé du bois, il peint la barrière en blanc » qu'une exécution simultanée (e.g., « Pendant qu'il découpe du bois, il peint la barrière en blanc ») des deux actions (de Vega, Robertson, Glenberg, Kaschak, & Rinck, 2004). Ces résultats s'articulent avec ceux montrant une implication

⁵⁰ Dans notre exemple, la phrase « ferme le tiroir » implique un déplacement de l'arrière vers l'avant similaire au déplacement du doigt ou du bras pour répondre.

⁵¹ Cette étude utilisant des expressions idiomatiques anglaise, les exemples sont difficiles à traduire. Le stimulus « kick » (taper du pied) est présenté seul, en contexte concret « kick the ball » (taper le ballon), ou en contexte idiomatique « kick the bucket » (correspondant plus ou moins à l'expression française passer l'arme à gauche). Seules les expressions impliquant une action « kick » ou « kick the ball » induisent une activité des aires motrices.

spécifique des effecteurs (Scorolli & Borghi, 2007). Par exemple, le jugement de signification de la phrase « il suce un bonbon » est plus rapidement donné par réponse vocale que manuelle. De plus, les mêmes régions du cortex moteurs sont activées lors de la compréhension de phrases décrivant des actions et l'exécution de ces actions (Aziz-Zadeh, Wilson, Rizzolatti, & Iacoboni, 2006; Glenberg et al., 2008; Tettamanti et al., 2005).

Les différentes études présentées mettent en évidence une implication des modalités visuelle et motrice lors de la compréhension de phrase. Seule une approche incarnée de la cognition permet d'expliquer ces résultats. En effet, en supposant que les caractéristiques visuelles ou motrices induites par la phrase ne sont pas représentées lors de la lecture, l'approche amodale ne permet pas d'expliquer *a priori* la modulation du temps de réponse en fonction du contenu de la phrase. Au contraire, l'approche incarnée du langage (Glenberg & Robertson, 2000) propose une implication des systèmes sensorimoteurs lors de la compréhension de phrase par le biais de l'utilisation de symboles perceptifs (Barsalou, 1999). Autrement dit, lors de la lecture, les participants accèdent au sens de la phrase en simulant les caractéristiques décrites dans la phrase (e.g., Pecher et al., 2009). Les effets facilitateurs observés en condition compatible refléteraient la correspondance entre une simulation mentale créée lors de la compréhension de phrase et la perception d'image ou l'exécution d'action actuelle. Ces différentes études suggèrent non seulement une base sensori-motrice du langage mais également une implication des mêmes systèmes lors d'activités langagières et d'activités perceptives ou motrices.

Néanmoins, la structure même du langage et des stimuli utilisés oriente les contenus des phrases vers une modalité sensorielle particulière, pouvant favoriser l'émergence d'une simulation particulière dans une modalité spécifique non pas au concept lui-même mais à la phrase dans son ensemble. En effet, les résultats présentent certaines contradictions en ce qui concerne la durée de la modulation de la réponse. Certains travaux rapportent des effets de compatibilité à court terme, disparaissant dès la fin de la phrase (Borreggine & Kaschak, 2006) ou restreints au traitement du verbe (Taylor & Zwaan, 2008; Zwaan & Taylor, 2006, Expériences 4 et 5). Des effets de

compatibilité à plus long terme sont également observés, au-delà du traitement du verbe, si l'action portée par le verbe est modifiée par l'adjonction d'un adverbe (Taylor & Zwaan, 2008). De même, l'implication du système visuel semble effective même après un délai de 45 minutes (Pecher et al., 2009). Certains auteurs (e.g. Fischer & Zwaan, 2008; Glenberg et al., 2008) proposent que, lors de la compréhension de phrase, deux types de simulation soient en jeu : une simulation liée au processus langagier lui-même, sensible aux caractéristiques linguistiques (e.g., utilisation de verbes transitifs impliquant un déplacement, e.g., le verbe donner) et une simulation des contenus perceptifs et moteurs de chaque mot. Les premiers effets auraient une influence à long terme alors que les seconds seraient limités au traitement du mot. Les effets de compatibilité observés lors de la compréhension de phrase refléteraient donc une combinaison de ces deux types de simulations. Dans ce contexte, il semble particulièrement pertinent de s'intéresser à l'implication des systèmes sensori-moteurs lors de la compréhension de phrase faisant explicitement référence aux concepts d'objet.

1.2. Un système conceptuel sensible au changement de modalité

La vérification de propriété associées à un concept est une tâche dont les performances reflètent l'organisation des connaissances sémantiques. En effet, savoir (ou vérifier) qu'une pomme peut être jaune permet de questionner les connaissances sémantiques liées au concept de pomme et d'inférer les relations qu'entretiennent entre elles les différentes propriétés de ce concept. Cela apparaît important lorsque l'on considère la distinction théorique entre une approche amodale de la mémoire (e.g., Fodor, 1983) et une approche *embodied*, ou incarnée/corporalisée (e.g., Barsalou, 1999). Pour l'approche incarnée traiter des informations conceptuelles consiste à simuler dans chaque modalité sensorielle, les expériences passées. En considérant que le système conceptuel n'a pas d'existence en dehors des systèmes perceptivo-moteurs, cette approche suggère que le système conceptuel devrait présenter les caractéristiques des systèmes perceptifs et moteurs (Solomon & Barsalou, 2004).

Une des caractéristiques du système perceptif est sa sensibilité au changement de modalité. En effet, le temps de détection d'un signal dans une modalité sensorielle (e.g., auditive, détecter un son) est plus long lorsque la détection précédente impliquait une autre modalité sensorielle (e.g., visuelle, détecter un flash lumineux) que la même modalité sensorielle (e.g., auditive, détecter un son) (Spence, Nicholls, & Driver, 2001). Cette différence est interprétée comme le signe d'un transfert attentionnel d'une aire sensorielle (e.g., aire auditive) à une autre (e.g., aire visuelle). Si, comme le suggèrent les théories incarnées, le traitement conceptuel implique les systèmes perceptifs, alors on devrait observer lors de tâches conceptuelles un coût comparable à celui observé dans les tâches perceptives (Barsalou, Pecher, Zeelenberg, Simmons, & Hamann, 2005).

Les résultats de plusieurs études permettent d'appuyer cette hypothèse (e.g., Marques, 2006; Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2003, 2004). La vérification d'une propriété cible impliquant principalement une modalité sensorielle (e.g., auditive, [Mixeur] - "bruyant") est plus longue lorsque la vérification précédente implique une propriété contextuelle d'une autre modalité sensorielle (e.g., gustative, [Canneberge] - "aigre") qu'une propriété contextuelle de même modalité (e.g., auditive, [Feuilles] - "crissent"). Ces résultats s'articulent parfaitement avec ceux obtenus en neuroimagerie démontrant que la simple vision d'un nom ou d'une image d'objet active des aires sensorielles impliquées lors de la rencontre avec l'objet lui-même (pour des revues de questions, voir e.g. Martin, 2007; Martin & Chao, 2001; Wheeler, Peterson, & Buckner, 2000). Par exemple, la simple présentation d'images de nourriture provoque une activation des aires gustatives impliquées dans la détection du goût (Simmons, Martin, & Barsalou, 2005) et lire des mots à forte résonance olfactive (e.g., cannelle, jasmin) provoque une activation du cortex olfactif primaire (González et al., 2006).

Ainsi le coût de transfert de modalité, comparable à celui observé dans des tâches purement perceptives, démontre une simulation du contenu perceptif de la propriété par le biais de la stimulation des aires sensorielles et motrices (Solomon & Barsalou, 2004). Afin de démontrer que le coût de transfert observé dans les études princeps implique réellement les systèmes perceptifs et repose sur les mêmes mécanismes que le paradigme de transfert de modalité en détection du signal, une étude intercale des

essais de détection du signal et de vérification de propriété (van Dantzig, Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2008). Chaque vérification de paire concept-propriété (e.g., visuelle, [Banane] – « jaune ») est précédée par la détection d'un signal, impliquant une modalité sensorielle identique (e.g., visuelle, détecter la localisation d'une lumière) ou différente (e.g., auditive ou tactile, détecter la localisation d'un son ou d'une vibration). Les réponses se font en appuyant sur une pédale (droite ou gauche). Les résultats indiquant un coût de transfert de modalité étendent les conclusions des études précédentes. Le coût observé est consécutif à un traitement différencié des modalités sensorielles par les processus sensoriels et non le résultat d'activations abstraites. Ainsi l'accès aux concepts se fait à un niveau sensori-moteur, par le biais d'une simulation sensori-motrice du contenu sémantique de la propriété (van Dantzig et al., 2008).

De plus, la facilitation de traitement des cibles de même modalité n'est pas liée à une association plus forte entre les propriétés de même modalité que de modalités différentes (Pecher et al., 2003 ; Expérience 2). Cet effet n'est pas non plus la manifestation d'une organisation des propriétés sous le primat du domaine d'appartenance des objets, mais bien d'une organisation des propriétés en fonction des modalités sensorielles qu'elles représentent (Marques, 2006; Marques, Canessa, Siri, Catricala, & Cappa, 2008). Par ailleurs, Pecher Zeelenberg, & Barsalou (2004) observent un coût de transfert quel que soit le délai (i.e., 12-, 18-, 24-, ou 100- essais) entre les deux présentations du même concept. Ceci suggère que les configurations d'activation relatives à un concept sont modifiées de manière durable par l'accès même à ce concept. Cette modification de ce qui est traité par le système, par le traitement lui-même dessine une sensibilité des représentations conceptuelles à la situation d'utilisation des concepts, incompatible avec les positions postulant des connaissances abstraites (Solomon & Barsalou, 2001).

Une étude réalisée en EEG (Collins, Pecher, Zeelenberg, & Coulson, 2011), permet de corroborer et préciser la nature des effets de facilitation de traitement observés dans les études comportementales. En utilisant le paradigme de transfert entre modalités, les auteurs ont mis en évidence que les substrats neuronaux impliqués lors de la vérification de propriété varient en fonction du type de propriété vérifiée

(i.e., visuelle ou auditive). Pour les propriétés visuelles, le transfert de modalité (i.e., vérification d'une propriété visuelle après vérification d'une propriété auditive) est associé à une augmentation de l'amplitude de la N400. La présence de la N400 suggère que le coût du transfert reflète un impact des informations perceptives au niveau sémantique. En revanche, pour les propriétés auditives, le transfert de modalité (i.e., vérification d'une propriété auditive après vérification d'une propriété visuelle) entraîne une activité tardive (entre 500 et 800 ms) et positive (Late positive complex – LPC) suggérant que, dans ce cas, le transfert influence des processus relatifs à la tâche, c'est-à-dire décider si une propriété est typique ou non d'un concept.

Lowerse & Connell (2011) considèrent la tâche de vérification de propriété comme reflétant non seulement les connaissances sémantiques des participants mais également leur capacité de compréhension linguistique. Or, si les modalités motrice, visuelle, gustative, olfactive et auditive sont distinctes lorsqu'on les considère au niveau sémantique, elles sont moins spécifiques lorsqu'on les considère au niveau linguistique. Au niveau linguistique, il n'y a pas de distinction entre les modalités visuelles et motrices, ni entre les modalités gustative et olfactive (la modalité auditive reste spécifique). Ainsi pour une vérification donnée, le transfert entre modalités sensorielles peut différer selon que l'on considère les modalités sensorielles d'un point de vue linguistique ou sémantique (e.g., la vérification d'une propriété visuelle après la vérification d'une propriété motrice impliquera un transfert au niveau sémantique, mais pas au niveau linguistique; la vérification d'une propriété auditive après une propriété visuelle impliquera un transfert au niveau sémantique et au niveau linguistique). De plus, les processus linguistiques ont une influence plus précoce que les processus sémantiques. Il existe donc une interaction entre des processus linguistiques précoces, permettant un accès aux caractéristiques grossières des concepts, et des processus sémantiques plus tardifs, permettant par le biais d'une simulation un accès aux caractéristiques plus précises des concepts. Pour Connell et ses collaborateurs (e.g., Lowerse & Connell, 2011; Lynott & Connell, 2010), les activations linguistiques précèdent les activations conceptuelles, permettant par le biais d'une simulation un accès aux caractéristiques plus précises des concepts.

Ainsi, les études mettant en évidence un coût de transfert de modalité sensorielle lors du traitement conceptuel constituent un argument majeur en faveur de l'existence des simulations lors du traitement conceptuel, et démontre que le système conceptuel est soumis aux mêmes contraintes temporelles que les systèmes perceptifs. Notons que des résultats similaires sont obtenus lorsque l'on demande aux participants de générer des propriétés, démontrant que les simulations sensorielles et motrices lors du traitement conceptuel soutiennent les processus liées à la reconnaissance mais également à la production des informations en mémoire. Wu et Barsalou (2009) ont contrasté deux conditions de génération de propriétés. Les participants devaient générer les propriétés d'un mot isolé (e.g., pelouse) ou présenté avec un qualificatif (e.g., pelouse enroulée), l'adjonction du qualificatif soulignant l'existence de certaines propriétés (e.g., avoir des racines). De plus, trois types d'instruction sont donnés aux participants : une consigne neutre de génération de propriétés, une consigne imagerie (i.e., les participants doivent imaginer visuellement le concept pour en donner des propriétés), ou une consigne mot (i.e., les participants doivent générer des mots liés aux concepts). Les résultats indiquent tout d'abord un effet de la condition de présentation du mot. En effet, dans la condition « mots isolés », les propriétés non explicitement présentées (e.g., avoir des racines) sont moins souvent citées que les propriétés explicitement présentées (e.g., est verte). A l'inverse, dans la condition « mot qualifié », les propriétés non explicitement présentées sont plus souvent citées que d'autres propriétés. Ce résultat n'est pas sans rappeler ceux où la compréhension de phrase implique la simulation du contenu de la phrase, suggérant que la signification d'un concept varie en fonction de la situation dans laquelle il est utilisé. De plus, les propriétés générées sont équivalentes en condition imagerie et en condition neutre. Ainsi le traitement conceptuel implique une recreation visuelle du concept équivalente à celle utilisée en tâche d'imagerie. Ceci souligne le caractère automatique de la simulation des propriétés visuelles lors de l'accès au concept (voir également, Solomon & Barsalou, 2001 pour une interprétation similaire).

Les différentes études présentées ci-dessus sont cruciales car elles démontrent les caractéristiques sensori-motrices des activités conceptuelles (Solomon & Barsalou,

2004). Ainsi, l'accès aux concepts se fait à un niveau sensori-moteur, par simulation sensori-motrice du contenu perceptif de la propriété. Finalement les processus conceptuels, tels qu'évalués par les tâches de vérification et de génération de propriété, semblent impliquer les mêmes systèmes distribués que les processus perceptifs (van Dantzig et al., 2008). Dans ce contexte, il semble particulièrement pertinent de s'intéresser à l'implication des systèmes sensori-moteurs lors de tâches ne faisant pas explicitement appel au traitement sémantique des mots.

2. Effet d'amorçage et hypothèse de simulations sensori-motrices

Nous venons de montrer que la compréhension de phrases et la vérification de la justesse de ces phrases pour un concept impliquait une simulation du contenu perceptif et moteur de la phrase. Certains travaux, utilisant une procédure d'amorçage permettent de généraliser l'existence des simulations sensori-motrices à des situations où le traitement de la composante sémantique des stimuli n'est pas induit par la tâche. L'amorçage sémantique est une des procédures communément utilisées pour étudier les caractéristiques de la mémoire sémantique. L'effet d'amorçage désigne l'influence automatique liée à la présentation d'un premier stimulus (l'amorce) sur le traitement d'un second stimulus (la cible). Cette influence est estimée en comparant les performances de traitement de la cible entre une condition non reliée (i.e., l'amorce et la cible n'ont aucun lien) et une condition reliée (i.e., l'amorce et la cible sont identiques ou similaires). Par exemple, en ce qui concerne l'organisation catégorielle, la cible et l'amorce peuvent être reliées par leur appartenance catégorielle au niveau surordonné (e.g., frisbee – ballon de basket), au niveau de base (e.g., ballon de foot – ballon de basket), ou encore leur lien schématique (panier de basket – ballon de basket). Un effet d'amorçage facilitateur (i.e., lorsque le traitement de la cible est facilité par la présentation préalable d'une amorce reliée relativement à la présentation d'une amorce non reliée) témoigne du lien privilégié entre les deux stimuli, ce lien étant porté par la dimension de similarité manipulée. Les effets d'amorçage suggèrent alors une importance de cette dimension dans l'organisation sous-jacente de la mémoire (e.g., Ferrand & Grainger, 1996; Meyer & Schvaneveldt, 1971). De plus, les effets d'amorçage

révèlent que la dimension manipulée est automatiquement activée, par la simple présentation du mot ou de l'image. Si, comme le suggère la théorie des symboles perceptifs (Barsalou, 1999), le traitement d'une image ou d'un mot simulent les composantes sensorielles et motrices associées à l'objet, des effets d'amorçage devraient être obtenus lorsque la cible et l'amorce partagent des caractéristiques relevant des mêmes modalités sensorielles et motrices. Nous présenterons d'abord certaines études montrant l'implication des informations sensorielles, puis celles montrant une implication des informations liées aux actions effectuées sur les objets.

2.1. L'activation automatique des informations sensorielles

En ce qui concerne la modalité visuelle, on observe des effets d'amorçage facilitateurs par certaines caractéristiques des objets, indépendamment de leur appartenance catégorielle, leur taille par exemple (Ferrier, Staudt, Reilhac, Jimenez, & Brouillet, 2007). Dans cette expérience, les participants doivent catégoriser en objets naturels ou fabriqués des images présentées à l'écran. Les paires amorce-cible peuvent appartenir à la même catégorie ou avoir la même taille typique⁵². L'effet d'amorçage obtenu montre que les connaissances conceptuelles incluent des caractéristiques liées à la taille réelle des objets. Cette caractéristique facilite le traitement conceptuel d'objets n'ayant rien d'autre en commun que leur taille et semble automatiquement activée. Les auteurs suggèrent que cet effet est lié à la simulation visuelle automatique de la taille réelle de l'objet lors de la catégorisation de sa représentation picturale. Joseph & Proffitt (1996) ont montré que la présentation en amorce de l'image d'un objet dans une couleur atypique (e.g., une pomme violette) facilite la reconnaissance du nom d'un objet de même couleur typique que l'amorce (e.g., une cerise, couleur typique rouge) mais pas celle du nom d'un objet de même couleur que l'amorce (e.g., une myrtille, couleur typique violette). Ainsi la couleur des objets semble également être une des caractéristiques visuelles des objets, simulable et simulée lors de l'accès au concept. En ce qui concerne la forme des objets, les travaux princeps de Flores d'Arcais et

⁵² La taille typique correspond à la taille réelle des objets. Notons que les dessins d'objets présentés ont tous la même taille à l'écran, la similarité de taille typique n'est donc pas explicite lors de la tâche.

collaborateurs (Flores d'Arcais, Schreuder, & Glazenborg, 1985; Schreuder, Flores d'Arcais, & Glazenborg, 1984) ont montré que la prononciation et la reconnaissance d'un mot écrit (e.g., pièce de monnaie) est facilitée par la présentation d'un mot amorce de même forme (e.g., pizza). Ces études princeps présentent certains problèmes méthodologiques (voir, e.g. Pecher, Zeelenberg, & Raaijmakers, 1998) ; cependant, les réplifications avec diverses méthodologies de cet effet d'amorçage par la forme typique des objets suggèrent une simulation de la forme des objets lors du traitement de leur nom (e.g., Kellenbach, Wijers, & Mulder, 2000; Pecher & Raaijmakers, 1999; Pecher et al., 1998; Zwaan & Yaxley, 2004). Pris dans leur ensemble, ces différents résultats montrent que de nombreuses caractéristiques visuelles des objets sont réactivées de manière automatique, par simulation ou recréation des configurations d'activation neuronale impliquées lors de la vision des objets.

Cette simulation des caractéristiques perçues lors de l'accès aux concepts concerne également des modalités perceptives non visuelles, la modalité auditive par exemple (Brunel, Lesourd, Labeye, & Versace, 2010). Cette étude comporte deux phases. Dans la première phase, les participants voient deux formes géométriques (un cercle ou un carré), l'une des deux étant systématiquement associée à un bruit blanc. Cette phase a pour but d'apprendre aux participants une association bruit-forme, une des formes étant bruyante et l'autre silencieuse. Dans la deuxième phase, les formes géométriques (présentées seules) constituent les amorces. Les images cibles sont des images d'objet « bruyant » (i.e., dont la principale fonction est typiquement associée à un son, e.g., un mixeur) ou des images d'objet « silencieux » (i.e., dont la fonction n'est pas typiquement associée à un bruit, e.g., un tournevis). Dans la deuxième phase, la présentation de l'amorce précédemment associée au bruit blanc et la présentation de cible « bruyante » devraient induire une recréation du contenu auditif (le bruit blanc ou le bruit typique de l'objet) alors que la présentation de l'amorce précédemment associée à aucun bruit et la présentation de cible « silencieuse » ne devraient pas induire de simulation auditive spécifique. Les résultats indiquent effectivement un effet d'amorçage du traitement des objets « bruyants » par les formes géométriques « bruyantes », témoignant d'une simulation des caractéristiques auditives des stimuli.

Ainsi, les informations liées aux bruits sont constitutives des concepts d'objet sonore, leur présence étant vraisemblablement imputable aux différentes expériences de rencontre de ces objets. Mais les informations liées aux bruits sont également constitutives des représentations conceptuelles des formes géométriques, leur présence étant alors imputable à l'association forme-bruit de la première phase d'apprentissage. De manière très intéressante, cette expérience met en évidence que ce n'est pas simplement l'association sonore mais bien une simulation précise du bruit qui est à l'origine des effets d'amorçage. En effet, le système conceptuel semble avoir encodé non seulement le fait que la forme était « bruyante » mais également la durée du bruit (500 ms). L'effet d'amorçage observé varie en fonction du délai entre la présentation de l'amorce et de la cible : le traitement de l'amorce « bruyante » interfère avec le traitement des cibles « bruyantes » pour un SOA de 100 ms entre l'amorce et la cible mais le facilite pour un SOA de 500 ms. Ainsi l'activation des aires auditives consécutive à la simulation du son de l'amorce entraînerait à la fois une difficulté et une facilitation de la simulation du contenu auditif des images d'objet. La difficulté du traitement de la cible serait liée à un chevauchement des simulations (le bruit n'a pas pu être simulé dans sa durée totale) alors que sa facilitation serait liée à une pré-activation des aires auditives par la simulation du bruit. Cette étude revêt un intérêt particulier dans l'appréciation des connaissances conceptuelles incarnées, démontrant tout d'abord que les composantes auditives des objets sont réactivées et identiques (au moins en termes de durée) à celles perçues. De plus, si l'effet d'amorçage facilitateur peut être interprété selon une approche amodale des connaissances (en terme de pré-activation par des symboles, par exemple), seule l'approche incarnée et multimodale permet d'expliquer la coexistence d'un effet d'interférence et de facilitation en fonction de la durée du SOA.

Ces différentes études mettent ainsi en évidence le caractère multimodal des concepts, suggérant que la simple vue ou évocation d'un objet réactive les composantes sensorielles impliquées lors de la rencontre de ces objets. De plus ces informations, organisées selon les modalités sensorielles responsables de leur perception, sont relativement spécifiques : elles concernent diverses dimensions visuelles pouvant être

simulées indépendamment les unes des autres et contiennent même dans le cas du signal auditif des informations liées à la durée du son.

2.2. L'activation automatique des informations motrices

Nous venons de voir que les composantes auditives et visuelles des objets sont automatiquement activées lors du traitement des concepts les représentant. Convenir de l'incarnation des connaissances ne peut se faire sans avoir mis en évidence une réactivation des composantes motrices. Les paradigmes d'amorçage permettent de montrer que l'accès aux concepts d'objet induit une simulation des propriétés d'utilisation des objets (e.g. Helbig, Graf, & Kiefer, 2006; Helbig, Steinwender, Graf, & Kiefer, 2010; Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008; Myung, Blumstein, & Sedivy, 2006). Par exemple, la présentation en amorce, d'une image (e.g., une poêle) facilite la dénomination d'une image cible présentant des caractéristiques de manipulation commune (e.g., une pelle) mais pas la dénomination d'une image cible ne se manipulant pas de la même manière (e.g., un banjo)(Helbig et al., 2006, Expérience 1). Notons que dans cette expérience les images cibles reliées et non reliées diffèrent uniquement sur la similarité manipulation⁵³. Myung, Blumstein, & Sedivy (2006, Expérience 1) ont obtenu des résultats similaires avec des mots présentées auditivement, démontrant ainsi que la simulation des propriétés d'utilisation des objets n'est pas conditionnée par la perception visuelle de l'amorce (i.e., de certaines parties des objets, e.g., la présence d'un manche). Ces deux expériences suggèrent donc une activation automatique et rapide⁵⁴ des composantes motrices liées à l'utilisation/manipulation de l'objet. Cette activation des composantes motrices dès la présentation du stimulus pourraient être liée à une activation de toutes les propriétés relatives à une catégorie d'objets (ici des objets manipulables) et non pas à une simulation des aires motrices. Cependant, les résultats obtenus par Labeye et collaborateurs (Labeye et al., 2008) montrent que les effets d'amorçage par la

⁵³ La similarité visuelle et la similarité sémantique vis-à-vis de la cible sont équivalentes, la latence de dénomination, la longueur des mots et leur fréquence également (Helbig et al., 2006).

⁵⁴ Les ISI (Interval Interstimuli) sont de 112 ms dans l'étude de Helbig et al. (2006) et de 70 ms dans l'étude de Myung et al. (2006).

manipulation commune des objets co-occurent mais n'interagissent pas lorsque le délai entre l'amorce et la cible est court (SOA=100 ms), suggérant ainsi que les composantes motrices sont activées indépendamment de l'appartenance à la même catégorie⁵⁵.

Le rôle des composantes motrices liées à l'utilisation des objets a également été mis en évidence chez les enfants entre 5 et 12 ans en utilisant une procédure d'amorçage moins classique (Mounoud et al., 2007). De courtes vidéos d'actions mimées sont présentées en amorce (e.g., vidéo de quelqu'un en train de scier), suivies de l'image d'un objet se manipulant comme dans la vidéo (i.e., condition reliée, e.g., une scie) ou différemment (i.e., condition non-reliée, e.g., une ampoule). Les résultats indiquent que les enfants de 9 à 12 ans, et les adultes dénomment plus rapidement les images cibles en condition reliée qu'en condition non reliée (Mounoud et al., 2007, Expérience 1). La même procédure entraîne également des effets d'amorçage facilitateur sur la catégorisation surordonnée des objets dès 5 ans (Mounoud et al., 2007, Expérience 2). Ces résultats mettent en évidence que, dès 5 ans, les composantes liées à l'utilisation des objets sont activées lors de la dénomination des objets. Néanmoins dans cette étude, les effets d'amorçage suggèrent mais ne prouvent pas la simulation des propriétés motrices lors de la vision de l'objet. En effet, comme le geste d'utilisation mimé est spécifique à l'objet cible (e.g., scier est une action réalisée exclusivement avec une scie) les effets d'amorçage pourraient être induits par une pré-activation de l'objet manquant lors de la vision de la vidéo. Chez l'adulte, certains résultats utilisant en amorce des films d'actions communes à plusieurs objets vont à l'encontre de cet argument. Par exemple, visionner un film montrant une action⁵⁶ (e.g., manipuler un rouleau à pâtisserie) induit une facilitation de traitement des images d'objet se manipulant de la même manière (e.g., une tondeuse, un chariot) (Helbig et al., 2010). Ainsi la manière dont sont utilisés les objets apparaît comme une

⁵⁵ Néanmoins les informations sémantiques et motrices interagissent lorsque le délai est plus long (SOA=500ms).

⁵⁶ Dans cette expérience, le participant a l'impression de voir des mains en mouvement ; néanmoins, les films ont été réalisés en filmant une personne vêtue de noir poussant des objets noirs eux aussi.

caractéristique automatiquement activée lors de la présentation de noms ou d'images d'objet.

Ce paradigme d'amorçage par le geste a été étendu à l'étude du geste de préhension, geste non relié explicitement à l'utilisation des objets, mais commun à diverses interactions avec les objets. La présentation en amorce d'une image de main réalisant une action de préhension facilite la dénomination ou le traitement conceptuel d'une image ou d'un nom d'objet (e.g. Borghi et al., 2007; Fischer, Prinz, & Lotz, 2008; Setti, Borghi, & Tessari, 2009). Par exemple, la catégorisation d'images en objets naturels ou fabriqués est plus rapide lorsque la préhension potentielle des objets cibles (e.g., un petit objet, une cerise) est compatible avec la position de la main présentée en amorce (e.g., amorce pince fine) plutôt qu'incompatible (e.g., amorce main entière) (Borghi et al., 2007). De plus, cet effet d'amorçage semble lié à la fois aux caractéristiques de l'amorce mais aussi de l'objet, suggérant une simulation motrice du contenu de l'amorce et de la manière de saisir l'objet (Vainio, Symes, Ellis, Tucker, & Ottoboni, 2008). Des résultats similaires ont été obtenus chez les enfants de 7 et 9 ans, et chez les adultes (Kalenine, Bonthoux, & Borghi, 2009). Les résultats de cette expérience indiquent que les amorces (pince fine et main entière) renforcent l'avantage de la catégorisation au niveau de base (c'est un marteau) sur la catégorisation au niveau surordonné (c'est un outil), laissant supposer que les informations de préhension, bien que communes à différents objets soient activées spécifiquement pour l'objet et non la catégorie d'appartenance. Dans une autre étude (Liuzza, Setti, & Borghi, 2012), des enfants de 7 ans devaient juger le poids d'un objet présenté sous forme d'image à l'écran. Cette image est précédée par la photographie de main d'enfant ou d'adulte en position de préhension ou de poing fermé. De manière générale, les résultats confirment ceux obtenus dans d'autres études : le jugement de poids est facilité par la présentation d'une image de préhension. Il semblerait donc que la préhension soit associée à la dimension de poids des objets. De plus, les jugements les plus rapides sont ceux formulés après la présentation d'une amorce de main d'enfant. Il semblerait donc que voir une main en position de saisie entraîne une simulation motrice, pré-activant les informations relatives à la préhension des objets. Ces informations seraient

particulièrement évocables lors de la vision des stimuli cibles et entraîneraient des effets d'amorçage. Notons que ces expériences sont plus à même de favoriser la disponibilité des informations de préhension par la présentation d'amorces congruentes que la simulation des gestes de préhension lors du traitement de la cible (i.e., lors de l'accès au concept d'objet).

Finalement, les effets d'amorçage observés permettent donc d'appréhender les hypothèses de la cognition incarnée sous un angle différent. Les connaissances conceptuelles semblent être organisées selon les modalités sensorielles impliquées lors des situations d'interaction avec les objets : elles semblent ainsi garder la trace des propriétés des objets telles qu'elles ont été appréhendées lors des épisodes de rencontre. Ces propriétés, automatiquement activées dans le contexte d'une phrase, semblent faire partie intégrante des concepts, suggérant que les concepts ne sont pas des entités abstraites mais des construits perceptifs et moteurs. Se dessine alors une perspective incarnée des connaissances conceptuelles proche de celle défendue par les modèles de mémoire à système unique (e.g., Rousset, 2000). Dans cette perspective, les connaissances sont des traces résultant de l'enregistrement quasi systématique de ce qui est perçu et agi. De plus, les études d'amorçage mettent en évidence un rôle particulier de l'action lors du traitement conceptuel, suggérant que les simulations motrices puissent tout aussi bien dépendre de l'utilisation spécifique des objets que de la manière dont on les saisit.

3. Le rôle de l'action dans le traitement conceptuel

Les paradigmes d'amorçage et de vérification/génération de propriété ont mis en évidence une implication certaine des systèmes perceptifs lors de l'accès aux concepts. Plus qu'un lien, ces études tendent à montrer que les processus catégoriels sont indissociables des processus perceptifs, le système conceptuel présentant les mêmes propriétés de distribution que les systèmes perceptifs. Ce constat ne peut s'expliquer que par une perspective incarnée et multimodale des connaissances. Or cette position suppose l'implication non seulement des systèmes perceptifs mais également des systèmes moteurs. Si l'hypothèse d'une simulation motrice permet d'expliquer les

effets de compatibilité observés lors de la compréhension de phrases et les effets d'amorçage par la manipulation commune ou des actions sur les objets, il reste à démontrer que ces simulations motrices présentent les propriétés du système moteur.

3.1. Implication du système moteur et compréhension des verbes d'action

Un des premiers arguments quant à l'implication du système moteur lors du traitement des verbes d'action provient de la mise en évidence d'activations dans les aires motrices et pré-motrices lors de l'écoute ou de la lecture de verbes d'actions (e.g., Boulenger et al., 2006; Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Pulvermüller, Hauk, Nikulin, & Ilmoniemi, 2005; Pulvermüller, Shtyrov, & Ilmoniemi, 2005). Dans une étude en IRMf, Hauk et Pulvermüller (2004) ont montré que la lecture de verbes faisant référence à des actions effectuées avec certaines parties du corps (e.g., lécher, attraper, taper avec le pied) induit des activations des aires motrices et pré-motrices de manière somatotopique, similaires à celles observées lorsque les participants effectuent réellement ces actions. De même, il a été observé chez les enfants (entre 4 et 6 ans) que la simple écoute de verbes d'action induit des activations dans les aires motrices impliquées lors de la réalisation de ces actions (James & Maouene, 2009). De plus, chez l'adulte, la mémorisation de verbes d'action réalisée avec les bras ou les jambes est dégradée lorsque les participants encodent les verbes en tapant de la main ou du pied, respectivement (Shebani & Pulvermüller, 2011). Ces résultats montrent donc une correspondance précise entre les actions réelles et la compréhension des actions. La simulation du système moteur lors de l'accès au sens des actions ne se fait donc pas de manière globale et indifférenciée ; au contraire, elle est spécifique aux effecteurs en jeu.

De plus, de nombreuses études neurophysiologiques font état d'une activation motrice localisée apparaissant autour de 100 – 250 ms après le stimulus (pour une revue de questions, voir Hauk, Shtyrov, & Pulvermüller, 2008). Etant donné que les effets lexico-sémantiques sont généralement observés aux alentours de 200 ms, les auteurs de ces différentes expériences concluent à une implication des aires motrices, nécessaire à l'élaboration du sens (Hauk et al., 2004; Hauk et al., 2008; Pulvermüller,

Hauk et al., 2005; Pulvermüller, Hummel, & Härle, 2001; Pulvermüller, Shtyrov et al., 2005).

Par ailleurs, la lecture de verbes d'action dans une tâche de décision lexicale interagit avec l'exécution d'un mouvement de préhension (Boulenger et al., 2006). Les items incluent des noms d'objet, des verbes d'action, des pseudo-mots et des pseudo-verbes. Le dispositif de réponse implique la préhension d'un cylindre situé juste devant les participants. Lorsque l'initiation du mouvement conditionne l'apparition du mot à traiter (Expérience 1), le temps d'exécution du mouvement est plus lent pour les verbes d'action que pour les noms d'objet. Au contraire, lorsque les participants exécutent le geste après avoir traité le mot (Expérience 2), le temps d'exécution du mouvement est plus rapide pour les verbes d'action que pour les noms d'objet. Les auteurs interprètent ces résultats comme un indice de recrutement des mêmes aires motrices lors du traitement des verbes et lors de l'exécution du mouvement. L'interférence motrice, rapide, signerait une difficulté du recrutement simultané des mêmes aires. Au contraire, la facilitation motrice peut être comprise comme un effet d'amorçage consécutif au traitement sémantique des verbes d'action. Notons que l'interférence motrice apparaît très rapidement, aux alentours de 160 – 180 ms après l'apparition du verbe, alors que la facilitation est effective plus tardivement, aux alentours de 550 – 580 ms après l'apparition du verbe. De plus, la présentation subliminale des stimuli induit également une interférence ou une facilitation de l'exécution motrice en fonction de la simultanéité ou de l'antériorité de la présentation du verbe (Boulenger et al., 2008). Puisque les verbes sont traités non-consciemment par les participants, ce résultat réfute l'hypothèse d'une implication des circuits moteurs en lien avec l'élaboration d'une image mentale de l'actions véhiculée par les verbes (voir pour une argumentation similaire les revues de questions de Kiefer & Pulvermüller, 2012; et Pulvermüller & Fadiga, 2010).

Ces différents résultats permettent d'appréhender un lien fort entre l'accès aux verbes d'action et les aires motrices responsables de l'exécution de ces mouvements. Ces résultats sont en accord avec une perspective incarnée des connaissances conceptuelles car les effets d'interférence motrice et de facilitation peuvent témoigner

de l'existence de simulations sensori-motrices lors de l'accès à la sémantique des actions (Pulvermüller & Fadiga, 2010). Ainsi, l'exécution simulée des actions est un composant central de la compréhension des verbes. De plus, les différents arguments présentés montrent un chevauchement des circuits recrutés lors de la compréhension de l'action et de l'exécution de ces gestes. Ces résultats ne peuvent *a priori* pas être expliqués par une conception amodale du traitement des verbes et constituent un argument solide en faveur de l'existence de simulations motrices impliquant spécifiquement les substrats neuronaux responsables de l'exécution de ces actions et automatiquement activées lors de la lecture des mots.

Nous venons de voir que le traitement conceptuel repose sur une simulation sensorielle et motrice du contenu perceptif des objets. De plus, ces simulations distribuées et multimodales, sont contraintes par les systèmes sensoriels et moteurs qu'elles empruntent. En effet, la simulation consécutive de deux modalités différentes entraîne un coût lié au passage de l'une à l'autre et l'implication des aires motrices lors du traitement des verbes d'action se fait de manière somatotopique. Néanmoins, les résultats présentés jusqu'à maintenant ont contribué à démontrer l'implication du système sensoriel dans le traitement conceptuel de tous types de stimuli (phrases, concepts d'objet de différentes catégories). Par contre, l'implication du système moteur lors du traitement conceptuel apparaît principalement lors du traitement de phrases d'action, de verbes d'action ou consécutivement à la vision de photographies de main en action, c'est-à-dire pour du matériel qui implique uniquement la modalité motrice. Certains auteurs argumentent que l'implication du système moteur pourrait être liée à une simple association entre les actions dénotées par les verbes et leurs composantes motrices (e.g., Mahon & Caramazza, 2008). Pourtant, une perspective incarnée des connaissances conceptuelles suggérerait une implication des systèmes moteurs lors du traitement des concepts d'objet en général et pas seulement des verbes d'action.

3.2. Les effets de compatibilité : comprendre l'implication des gestes de préhension

Puisque comme le supposent les modèles de cognition incarnée, les aires motrices entrent en jeu lors de la vérification de phrases et de verbes d'action, elles devraient également participer au traitement des concepts d'objet. Ainsi une modulation de la réponse motrice par le traitement d'un stimulus devrait être observée, à l'instar des effets de compatibilité observés lors du traitement des phrases d'action ou des verbes d'action.

En se basant sur le principe de l'interférence motrice, certains auteurs ont mis en évidence des effets de compatibilité entre les stimuli présentés et la manière de répondre (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 1998, 2001). Dans l'expérience princeps de Tucker et Ellis (1998), les stimuli sont des images à l'endroit ou à l'envers d'objets (e.g., une poêle) dont la partie préhensible (e.g., le manche) est dirigée vers la droite ou vers la gauche. Les participants indiquent l'orientation de l'objet en répondant avec leur main droite ou leur main gauche. Bien que les informations liées à la préhension des objets ne soient pas utiles pour déterminer l'orientation de l'objet, les réponses positives (i.e., orientation correcte de l'objet) sont plus rapides lorsque la latéralisation de la réponse correspond à la latéralisation de la partie préhensible. Des effets de compatibilité similaires ont été mis en évidence entre la taille des objets et la taille de la pince pour répondre (i.e., pince fine pour de petits objets et main entière pour de gros objets) pour des objets naturels et fabriqués (Borghetti et al., 2007; Tucker & Ellis, 2001, Expérience 1), que les réponses soient uni-manuelles ou bi-manuelles (Tucker & Ellis, 2001, Expérience 5). Ces effets sont classiquement interprétés en termes d'activation automatique du geste de préhension lors de la vision des objets. En d'autres termes, les caractéristiques liées à la préhension des objets seraient constitutives des concepts. Si les informations liées à la préhension sont automatiquement activées lors de la perception d'objet, d'autres dimensions telles que leur forme, localisation et orientation devraient donner lieu à des effets de compatibilité, dès lors que la dimension induite par la présentation visuelle serait prise en compte par les systèmes moteurs engagés

dans l'exécution de la réponse (Tucker & Ellis, 2004). Ainsi, les expériences démontrant une modification de l'action de soulever consécutive à une modification du poids du stimulus perçu (Brouwer, Georgiou, Glover, & Castiello, 2006; Scorolli, Borghi, & Glenberg, 2009) constituent un argument en faveur de simulations motrices prenant en compte différentes dimensions des stimuli.

Ces effets comportementaux s'accompagnent d'une activation des aires corticales habituellement impliquées lors de la préhension des objets (e.g., Grèzes & Decety, 2001; Grèzes, Tucker, Armony, Ellis, & Passingham, 2003). Une étude réalisée en EEG, utilisant le même type de paradigme dans une tâche de catégorisation d'objet, démontre que la préparation du geste est exécutée très précocement (entre 100 et 200 ms)(Goslin, Dixon, Fischer, Cangelosi, & Ellis, 2012). En effet la présentation d'un objet dont le manche est orienté à droite entraîne la préparation de la réponse de droite. Cette étude montre que la perception d'un objet saisissable influence la planification de la réponse motrice, indépendamment de la compatibilité entre l'orientation du stimulus avec la réponse exigée. Ce résultat ne peut s'expliquer que par une activation automatique et précoce des informatrices relatives à la préhension de l'objet présenté dans l'image. De plus, cette activation précoce de l'action semble s'intégrer au processus visuel puisque l'intention d'agir des participants module l'activité des ondes classiquement impliquée lors des processus visuels. Ces résultats ne sont pas sans rappeler ceux obtenus par Boulenger et ses collaborateurs (e.g. Boulenger et al., 2006; Boulenger et al., 2008) montrant une influence précoce du traitement des verbes d'action.

Nous venons de démontrer que les gestes de saisie des objets sont automatiquement activés, ou simulés lors de la perception visuelle de ces objets. Ces résultats permettent d'argumenter, selon une perspective incarnée, que les caractéristiques liées à la préhension des objets sont constitutives des concepts d'objet. Notons toutefois que ces expériences impliquent majoritairement des outils et des ustensiles de cuisine, des objets dont la connaissance est hautement liée à leur utilisation. Dès lors, il apparaît difficile de dissocier ce qui, dans la mise en évidence des effets de compatibilité, relève du design expérimental ou de la simulation des actes

moteurs réalisés sur les objets. En effet, la réactivation des composantes motrices pourrait refléter une perception des objets modulée par le fait que les participants répondent d'une certaine manière. Dans ce cas, le fait de répondre d'une certaine manière (e.g., préhension pince fine) induirait la recherche de caractéristiques liées à la potentialité d'effectuer cette action (voir également Binkofski & Buxbaum, 2012; et Borghi & Cimatti, 2010 pour des arguments similaires). En d'autres termes, le geste de réponse amorcerait la perception visuelle des stimuli, rendant les résultats obtenus grâce à un paradigme de compatibilité comparables à ceux obtenus grâce à un paradigme d'amorçage par des photographies de mains. Dans le même ordre d'idées, de nombreux travaux ont montré que l'action influence la perception (voir e.g., Proffitt, 2006; et Witt, 2011 pour des revues de questions). Par exemple, planifier un geste d'atteinte modifie la perception de cet objet (Vishton et al., 2007). Sous cet angle, l'hypothèse de simulation du contenu moteur des objets ne paraît pas nécessaire, les effets pouvant simplement refléter la perception d'affordances à la préhension de l'objet dans un contexte moteur les potentialisant (voir, e.g., Lindemann, Sterneken, van Shie, & Bekkering, 2006 pour un point de vue similaire).

Plusieurs études montrent une augmentation ou une diminution des effets de compatibilité en fonction de la tâche (e.g., Cho & Proctor, 2010; Pellicano, Iani, Borghi, Rubichi, & Nicoletti, 2010). Dans l'étude de Pellicano et al. (2010), les effets de compatibilité sont obtenus si l'on demande aux participants de décider de l'orientation d'un objet mais pas lorsqu'on leur demande de traiter la couleur, sauf si la couleur oriente leur attention sur la prise en compte de la partie préhensible de l'objet. Par ailleurs, l'association entre action induite par une image et activation relative à la détection d'une orientation pourrait exacerber les effets de compatibilité. En effet, la simulation du geste de préhension peut être relative au fait d'évaluer la nécessité de retourner l'objet ou pas ; notons d'ailleurs que la tâche de décision d'orientation induit des effets de compatibilité lorsque la réponse donnée implique un geste de rotation (Tucker & Ellis, 1998 , Expérience 3). Les effets de compatibilité pourraient alors témoigner de l'intrication des processus perceptifs, moteurs et décisionnels dans un contexte donné (e.g., Symes, Ellis, & Tucker, 2007). En effet, présenter les images

d'objet dans un contexte d'action (avec la photographie d'une main en position de saisie pince fine ou en position de saisie main entière) modifie les effets de compatibilité. Lorsque la photographie de la main est placée au dessus de l'objet, suggérant un lien direct entre l'action dépeinte par la photographie et l'objet sur l'image, seuls les essais dans lesquels la posture de la main est compatible avec la taille de l'objet entraînent une facilitation de la réponse motrice (Girardi, Lindemann, & Bekkering, 2010 , Expérience 1). Il y aurait donc, dans ce cas, une prise en compte des informations liées à la préhension non pas de l'objet mais de l'item dans son ensemble (i.e., la main et l'objet). Au contraire, lorsque la photographie de main n'induit pas de préhension de l'objet (l'image et la main sont présentées côte à côte), la réponse motrice est facilitée de manière indépendante par la présentation d'un objet de taille compatible et par celle d'une posture de main compatible (Girardi et al., 2010, Expérience 4).

Ces derniers résultats permettent de nuancer l'interprétation des effets de compatibilité observés, les plaçant dans un contexte interactionniste entre les actions exécutées, la perception visuelle et la situation dans laquelle la perception d'un objet permet une simulation de la préhension. Tout d'abord, le geste de préhension des objets semble être automatiquement perçu, on pourrait dire simulé⁵⁷, lors de la perception d'un objet. Néanmoins, cette simulation semble être particulièrement à l'œuvre lorsque le design expérimental souligne le contenu moteur de l'image, suggérant que la préhension des objets est simulée lorsque le participant perçoit l'objet comme étant potentiellement saisissable ; cette simulation motrice pourrait alors n'être que peu liée au contenu sémantique des concepts. Elle serait plutôt inhérente au fonctionnement moteur et sous tendue par des mécanismes de simulation ou résonance motrice, venant influencer la perception (Jeannerod, 2001; Witt, 2011; Witt & Proffitt, 2008). Ensuite, les informations fonctionnelles liées à l'utilisation précise d'un objet semblent être constitutives des concepts (Helbig et al., 2006; Myung et al., 2006). Cependant, dès que l'on présente des images d'objet, il semble qu'il y a une influence

⁵⁷ Au sens de simulation motrice telles que définie par Jeannerod (2001)

des affordances à saisir l'objet et des composantes motrices fonctionnelles des objets. Binkofsky et Buxbaum (2012) proposent que cette dissociation soit ancrée dans des processus de traitement différents pour les informations liées à la préhension et celles liées à la fonction des objets.

3.3. L'implication de différents substrats neuronaux dans la prise en compte des informations relatives aux actions sur les objets

Les gestes de saisie et les gestes d'utilisation semblent tous deux constitutifs des concepts d'objet. Bub, Masson, & Cree (2008) proposent que certaines actions, qualifiées d'actions volumétriques, soit hautement associées aux gestes de préhension des objets dans le but de les déplacer ou les soulever. Ces actions volumétriques permettraient la prise en compte d'informations relatives à la forme globale et au poids des objets. Symétriquement, la perception d'informations relatives au volume ou au poids des objets entraînerait une simulation du geste de préhension. Les auteurs opposent ces actions volumétriques aux actions fonctionnelles qui, elles, seraient en lien avec une manipulation spécifique des objets correspondant à leur utilisation conventionnelle. En utilisant un paradigme inspiré de la tâche d'interférence de Stroop, Bub et ses collaborateurs (Bub et al., 2008) explorent la pertinence de la distinction entre geste de préhension et geste d'utilisation. Dans cette étude, les participants apprennent d'abord une association entre un geste et une couleur. Les gestes appris peuvent être soit des actions fonctionnelles (e.g., appuyer), soit des actions volumétriques (e.g., saisir à pleine main) ; un dispositif expérimental, le Graspasaurus, permet l'exécution des actions. Ensuite, lors de la phase test, les participants voient des images d'objet en couleur. Ils doivent exécuter l'action associée à la couleur sans se préoccuper de l'objet. Le geste à effectuer peut être compatible avec l'image de l'objet (e.g., appuyer avec une image de calculatrice) ou incompatible (e.g., saisir à pleine main avec une image de calculatrice). Les temps d'exécution motrice sont plus courts lorsque l'image et le geste sont compatibles que lorsqu'ils sont incompatibles. En d'autres termes, les auteurs observent une interférence en condition incompatible alors même qu'accéder aux gestes d'utilisation ou de préhension des objets n'est pas

nécessaire à la réalisation de la tâche. Cette étude suggère donc une dissociation entre action d'utilisation et action de préhension et suggère que les informations fonctionnelles et volumétriques soient conjointement activées lors de la perception d'images d'objet.

Certains travaux ont mis en évidence une implication de différents substrats neuronaux en fonction du type d'information traitée ou du type d'action perçue. Les premières études relatives au traitement différencié des propriétés des objets concernent le traitement des informations visuelles consécutives à la présentation d'une image. Classiquement, on distingue deux voies de traitement de l'information visuelle : la voie ventrale (impliquant d'abord les aires visuelles V3 et V4 et aboutissant au niveau du lobe inféro temporal) et la voie dorsale (impliquant d'abord les aires visuelles MT, V3A et V6 et aboutissant au niveau du lobule pariétal inférieur). Ungerleider & Mishkin (1982) proposent que la voie ventrale soit impliquée dans la perception des objets « quoi ? » alors que la voie dorsale serait impliquée dans la perception de l'espace « où ? ». Goodale et Milner (Milner & Goodale, 1995) appuient l'idée d'une distinction anatomo-fonctionnelle entre la voie ventrale et la voie dorsale. Ils proposent une distinction non plus en termes de type d'information traitée par les circuits mais de finalité du traitement. La voie ventrale permettrait, par la prise en compte des informations relatives aux caractéristiques visuelles des objets (e.g., la forme, la couleur), d'identifier et de reconnaître les objets (« quoi ? »). La voie dorsale permettrait, par la prise en compte des informations spatio-temporelles, d'organiser et d'initier les actions sur les objets (« comment/où ? »). Cette position suppose que les informations visuelles sont traitées simultanément mais différemment par les deux voies ; d'une part il y aurait une finalité perceptive et de l'autre une finalité en terme de contrôle des actions.

Ainsi, perception des objets et des actions sur les objets sont deux mécanismes différenciés sur les plans anatomique et fonctionnel. Cette dichotomie a été plus récemment remise en question, la voie dorsale semblant traiter en partie des informations utilisées par la voie ventrale. Rizzolatti et Matelli (2003) proposent que la voie dorsale soit constituée de deux circuits : un circuit ventro-dorsal impliqué à la fois

dans la perception de la position relative des objets dans l'espace et dans leur utilisation, et un circuit dorso-dorsal impliqué dans le traitement des informations visuelles relatives à la taille et à la position de l'objet, informations nécessaires aux activités de préhension des objets. De nombreux résultats tant comportementaux que neurophysiologiques appuient l'hypothèse d'un traitement différencié mais parallèle de certaines caractéristiques visuelles par la voie dorsale (pour une revue, voir Gallese, 2007). Il semblerait donc que la voie dorsale traite en parallèle des informations liées à la fonction des objets par le biais des gestes d'utilisation et des informations liées au volume des objets par le biais des gestes de préhension. Les informations pertinentes pour saisir un objet et les informations pertinentes pour utiliser un objet impliqueraient différentes structures corticales. Buxbaum et collaborateurs (Binkofski & Buxbaum, 2012; Buxbaum & Kalénine, 2010; Buxbaum, Kylea, Tang, & Detre, 2006) suggèrent que le circuit ventro-dorsal, impliqué lors du traitement des informations liées à l'utilisation des objets, soit activé par les actions fonctionnelles. Le circuit dorso-dorsal quant à lui, impliqué lors du traitement des informations liées aux caractéristiques extrinsèques des objets (forme taille etc...) serait activé par la préhension des objets. Ainsi, lors de la perception d'un objet, au moins deux types d'information seraient activés : des informations volumétriques liées à la préhension et des informations fonctionnelles liées à l'utilisation des objets. Ces auteurs argumentent que le circuit dorso-dorsal est activé plus tardivement mais plus longuement que le circuit dorso-ventral (voir en particulier Binkofski & Buxbaum, 2012; Jax & Buxbaum, 2010). Le corolaire de cette proposition est que les informations fonctionnelles seraient de nature sémantique et donc invariables alors que les informations structurales (liées à la forme ou à la taille des objets) seraient plutôt fonction de l'évocabilité du geste de préhension, elle-même contrainte par la tâche (e.g., la préparation à l'action).

3.4. Affordances des informations relatives à l'utilisation des objets

Différents substrats neuronaux semblent donc dédiés à la prise en compte des informations volumétriques relatives aux actions de préhension et des informations fonctionnelles relatives aux actions d'utilisation des objets. Selon les objets, les deux

actions peuvent être équivalentes : on fait le même geste de la main pour déplacer un verre (i.e., action volumétrique) ou boire dedans (i.e., action fonctionnelle) ou très différente : déplacer une bombe aérosol se fait en la saisissant à pleine main (i.e., action volumétrique) mais l'utiliser implique d'appuyer sur un bouton avec l'index (i.e., action fonctionnelle). Récemment, Jax et Buxbaum (2010) se sont intéressés aux processus impliqués lors du traitement des objets dits conflictuels (i.e., impliquant des actions volumétriques et fonctionnelles différentes, e.g., une bombe aérosol). Les participants réalisent deux types de manipulations : soit saisir les objets pour les donner à quelqu'un, soit les utiliser. Les résultats indiquent que l'initiation des gestes est plus lente pour les objets conflictuels que non-conflictuels. Ceci montre que les informations liées à la préhension et à l'utilisation sont toutes les deux induites par la simple intention de manipuler les objets (i.e., les saisir ou les utiliser). De plus, le conflit entre préhension et utilisation est plus facilement résolu lorsque les participants doivent utiliser un objet que le saisir pour le donner à quelqu'un (voir également, McBride, Sumner, & Husain, 2012). Il semblerait donc que le contexte d'utilisation des objets permette d'appréhender plus facilement des actions non compatibles (voir, Borghi, Flumini, Natraj, & Wheaton, 2012 pour une interprétation similaire). En effet, des objets sont plus facilement reconnus lorsque le contexte de présentation de l'objet est habituel (e.g. une tasse près de la bouche) que lorsqu'il est inhabituel (e.g., une tasse près des yeux) (van Elk, Schie, & Bekkering, 2008). L'idée sous-jacente à ces expériences pourrait se résumer ainsi : les participants infèrent à partir du contexte le but sous-jacent à l'action (Gallese, 2009). Iacoboni et al. (2005) réalisent une étude en IRMf dans laquelle les participants regardent des vidéos présentant une action motrice simple (e.g. une main saisissant une tasse), une action motrice en contexte (e.g., une main saisissant une tasse sur une table préparée pour prendre le thé), ou une scène (e.g. une table préparée pour prendre le thé, avec une tasse, sans main). La vision de cette dernière condition induit, en plus des activations visuelles, un recrutement des aires motrices comparable à celui induit par la vision d'une action motrice en contexte. Ainsi, alors même que la main pour saisir la tasse n'est pas visible, le contexte de présentation oriente la perception de l'objet comme un objet à manipuler. Ces différents arguments

permettent d'envisager que les actions liées à l'utilisation des objets soient plus facilement évocables lorsque les objets sont présentés dans un contexte qui correspond à leur utilisation réelle.

En outre, les informations fonctionnelles liées à l'utilisation des objets semblent être induites par la présence de deux objets reliés fonctionnellement (Yoon, Humphreys, & Riddoch, 2010). Dans cette expérience, les participants voient des paires d'objets à l'écran, certaines d'entre elles présentant des objets reliés fonctionnellement, où l'un est utilisé avec l'autre (e.g., une spatule et une poêle). Les participants réalisent deux tâches : décider si les deux objets sont utilisés ensemble (i.e., cette tâche teste l'accès aux connaissances d'utilisation) et décider si les deux objets appartiennent au même schéma, (e.g., les ustensiles de cuisine ; i.e., cette tâche teste l'accès aux connaissances sémantiques), la réponse positive se faisant avec la main droite. L'objet utilisable (e.g., la spatule dans notre exemple) peut être situé à droite ou à gauche. Les résultats indiquent un effet de compatibilité du à la position de chaque objet : les décisions concernant l'utilisation commune ou l'appartenance catégorielle sont plus rapides lorsque l'item utilisable est présenté à droite (i.e., du même côté que la réponse). De plus, cet effet est plus important lorsque la consigne demande explicitement de traiter l'utilisation commune des objets. Par ailleurs, l'effet de compatibilité est augmenté par l'adjonction d'une photographie de main en position de préhension de l'objet mais il disparaît lorsque les participants voient des mots, et non des images, ou lorsque la présentation des images n'est pas égocentrée.

Cette étude présente l'avantage de coordonner les différents résultats vus jusqu'à maintenant : les informations relatives à l'utilisation des objets sont clairement constitutives des objets manipulables. Cependant, présenter des images de mains induisant une préhension (Girardi et al., 2010), présenter des objets fonctionnellement reliés (Borghi et al., 2012), ou même demander de traiter explicitement l'utilisation des objets (Bub et al., 2008; Jax & Buxbaum, 2010) favorisent l'évocation de leur utilisation. Notons tout de même que la facilité d'évocation des informations fonctionnelles augmente avec l'accroissement de la similarité entre la situation de test et la situation d'utilisation des objets. Finalement, les actions d'utilisation des objets semblent être

activées, tout comme les actions de préhension, lorsque la situation d'évocation du concept accentue les effets de l'action. Le rôle du contexte pourrait être notamment interprété comme une réactivation des épisodes de rencontre avec les objets. Les informations relatives aux actions fonctionnelles seraient encodées dans le contexte spécifique de leur utilisation tandis que les informations volumétriques seraient encodées dès lors que les objets semblent pouvoir être saisis.

Les travaux présentés dans les sections précédentes soulignent la nature multimodale et distribuée du système conceptuel, en montrant une implication des informations sensorielles (visuelles et auditives) et motrices lors du traitement conceptuel de phrases, de mots et d'images. Si le traitement conceptuel implique les systèmes perceptifs par le biais d'une simulation du contenu sensoriel des concepts, l'influence des systèmes moteurs semble plus complexe à appréhender. En effet, le traitement des informations visuelles relatives à la présentation d'images d'objet implique deux circuits neuronaux suggérant une dissociation entre les processus traitant les informations volumétriques par le biais de la préhension et les processus traitant les informations fonctionnelles par le biais de l'utilisation des objets. Cette dissociation s'illustre par des différences comportementales (Jax & Buxbaum, 2010). Malgré une dissociation lors de la prise en compte de ces informations, certains travaux ont montré que les informations liées à la préhension (Helbig et al., 2006) et les informations fonctionnelles (Myung et al., 2006) sont constitutives des concepts d'objet. Par ailleurs, dès lors que l'on présente des images d'objet, l'évocabilité des informations volumétriques et fonctionnelles dépend du contexte de présentation. Nous avons en effet souligné que les informations volumétriques et fonctionnelles sont toutes deux soumises à la possibilité d'effectuer les actions. Pour résumer, la réactivation d'actions réalisées sur les objets (i.e., simulations motrices, Barsalou, 1999) et la possibilité de réaliser une action au moment de traiter la représentation picturale d'un objet (i.e., perception d'affordances, J. J. Gibson, 1977) semblent participer à l'organisation des connaissances conceptuelles. Ainsi, les études sur le rôle de l'action nous permettent de placer les connaissances conceptuelles dans un cadre interactionniste entre les expériences passées (mettant en jeu un processus de

simulation) et la situation d'évocation du concept (mettant en jeu, quand elles sont disponibles, un processus de perception d'affordances). D'un point de vue théorique, une position en terme d'affordances uniquement suggérerait que la facilitation d'accès à certaines situations ne dépende que de la majoration de ces informations et soit donc relativement indépendante du contexte d'encodage (voir, e.g., Borghi & Riggio, 2009). Au contraire, les positions incarnées permettent de considérer que les connaissances conceptuelles résultent de l'encodage des différentes propriétés au moment de la rencontre avec les objets. La pondération des différentes informations motrices entraînerait alors la prise en compte de propriétés relatives à certaines actions. Lors du traitement conceptuel, cette hiérarchisation des différentes actions serait dépendante non seulement des informations encodées mais également du contexte d'évocation, certains contextes favorisant la prise en compte de certaines informations (Barsalou, 2005b). Dans une perspective incarnée, le développement des concepts serait lié aux diverses expériences sensori-motrices (Barsalou, Breazal, & Smith, 2007). Manipuler les objets constituerait donc une expérience sensori-motrice particulière avec les objets. Les études montrant un rôle spécifique de la manipulation d'objet sur les activités conceptuelles et celles explicitant quels types d'informations sont pris en compte par le biais de la manipulation permettent d'étayer l'hypothèse d'un ancrage des connaissances dans les expériences directes avec les objets.

3.5. Le rôle des expériences de manipulation des objets, vers un ancrage des connaissances conceptuelles dans les actions effectuées

Le rôle spécifique des expériences antérieures est révélé par des études démontrant l'influence directe de la manipulation d'objets sur la catégorisation ultérieure. Les rares études testant cette influence chez les adultes utilisent un paradigme d'entraînement/catégorisation (Beauchamp & Martin, 2007; Bellebaum et al., 2012; Kiefer, Sim, Liebich, Hauk, & Tanaka, 2007). Dans la première phase d'entraînement, les participants interagissent avec les objets, les manipulent, exécutent des actions. Dans la seconde phase de test, ils réalisent une tâche de catégorisation. Les performances dans la phase de catégorisation sont analysées en regard des

manipulations exécutées dans la première phase. L'hypothèse sous-jacente à ce paradigme concerne une modulation des performances catégorielles en fonction de la manipulation effectuée précédemment.

Une étude réalisée par Kiefer et collaborateurs (Kiefer et al., 2007) et utilisant un paradigme d'entraînement/catégorisation couplé à l'enregistrement de l'activité encéphalographique permet d'appréhender l'influence de l'apprentissage moteur sur les réseaux neuronaux impliqués lors du traitement conceptuel. Au cours d'un entraînement relativement long (16 sessions d'1 heure, en 3 semaines), des adultes apprennent à catégoriser de nouveaux objets (i.e. des images d'objet en 3D, n'existant pas dans la réalité). L'appartenance catégorielle des objets est définie soit par la similarité de forme globale (les objets d'une même catégorie ont tous la même forme globale, mais présentent des détails différents) soit par la similarité d'une de leur partie (les objets d'une même catégorie divergent par leur forme globale mais ont tous le même détail). Parallèlement à cet apprentissage, les participants réalisent un entraînement sensori-moteur : la moitié d'entre eux doit mimer des actions sur une partie de l'objet, l'autre moitié doit simplement pointer cette partie. Les actions mimées sur les objets permettent d'évaluer l'effet de la similarité d'action sur la partie de l'objet en augmentant la similarité catégorielle des objets présentant tous cette partie et en diminuant la similarité catégorielle des objets de même forme globale. Au contraire, l'action de pointage ne devrait pas moduler la prise en compte de la similarité visuelle. Après avoir réalisé cet entraînement, les participants effectuent une tâche de catégorisation des objets. Les résultats indiquent que les deux groupes de participants présentent des performances équivalentes dans les tâches catégorielles. Cependant, ceux du groupe « mime » présentent, par rapport au groupe « pointage », un pattern spécifique d'activations neuronales dans les aires visuo-motrices. En fait, l'activation du cortex occipito-pariétal (classiquement activé lors des tâches de catégorisation) est précédée d'une activation précoce des régions motrices du cortex frontal. Ceci suggère que les informations motrices liées aux actions sur les objets sont activées lors du traitement conceptuel de ces objets (Kiefer et al., 2007). Ainsi, les actions réalisées sur les objets semblent moduler les processus catégoriels relatifs à ces objets. Cette

modulation semble être particulièrement dépendante des actions réalisées sur les objets, même lorsqu'elles sont mimées.

Une étude en IRMf (Weisberg, van Turenout, & Martin, 2007) permet de préciser les résultats de Kiefer et al (2007). Dans cette expérience, les participants réalisent une tâche d'identification d'objet⁵⁸ avant et après un entraînement sensori-moteur. Lors de l'entraînement, les participants apprennent à manipuler très précisément et de manière spécifique des objets inconnus : il s'agit par exemple de déplacer de petites baguettes de bois. Notons que l'entraînement moteur permet aux participants de comprendre la fonction ou l'utilité des objets. La comparaison entre les régions impliquées dans le traitement des objets avant et après l'entraînement montre, après entraînement, une augmentation de l'activité cérébrale dans les aires impliquées dans l'exécution de mouvements et de manipulation. Ainsi, interagir avec un objet (en le manipulant) entraîne l'implication de circuits neuronaux visuo-moteurs lors d'activités conceptuelles sur ces objets. Nous regretterons néanmoins que cette expérience ne soit pas illustrée par des résultats comportementaux permettant de relier les performances catégorielles à la mise en place d'une configuration d'activation spécifique. Malgré tout, cette expérience constitue, à notre connaissance un des premiers arguments démontrant que les gestes d'utilisation d'un objet induisent, lors d'activités conceptuelles, une activation spécifique de certains circuits neuronaux. De plus, les structures cérébrales impliquées lors de la tâche d'identification en post-manipulation correspondent aux circuits visuo-moteurs impliqués lors de la reconnaissance ou de la catégorisation d'outils. Ceci suggère que les actions fonctionnelles sur les objets induisent une perception de nouveaux objets similaire à la perception des outils.

Une étude récente de Bellebaum et collaborateurs (Bellebaum et al., 2012), permet de corroborer et d'approfondir les résultats. Les auteurs comparent ici encore l'activité neuronale entre les régions impliquées dans le traitement visuel des objets avant et après un entraînement sensori-moteur (3 sessions de 75 - 90 min). Deux types

⁵⁸ Cette tâche d'identification consiste à décider si deux images représentent deux vues différentes du même objet ou deux objets différents.

d'apprentissage (fonctionnel *vs.* visuel), effectués par tous les participants sur deux ensembles d'objets différents, sont comparés. Les objets sont tous des objets complexes miniatures en trois dimensions. Au cours de l'apprentissage fonctionnel, les participants utilisent pendant 90 sec différents objets dont la fonction (e.g., pousser, transporter, détruire, etc.) a été au préalable démontrée et dénommée par l'expérimentateur. Au cours de l'apprentissage visuel, ils lisent un descriptif d'autres objets dont la fonction (e.g., pousser, transporter, détruire, etc.) a également été démontrée et dénommée au préalable, puis doivent ensuite décrire l'objet pendant 90 sec. maximum. Dans la phase de test, ils doivent décider si deux images représentent deux vues différentes du même objet ou deux vues de deux objets différents. Les réponses (justesse et temps de réponse) et l'activité cérébrale sont enregistrées et analysées en fonction du type d'entraînement réalisé sur les objets, c'est-à-dire pour des objets « manipulés » et des objets « vus ». Au niveau comportemental, les participants sont plus performants après l'entraînement qu'avant l'entraînement, comme l'illustre l'augmentation de l'activation du cortex fronto-pariétal après l'apprentissage. Cependant, il n'y a pas de différences de performance entre les objets manipulés et les objets vus. En outre, la configuration des activations après la phase d'entraînement est modulée par le type d'objet : les objets manipulés entraînent, par rapport aux objets vus, une augmentation de l'activité du circuit classiquement impliqué lors de la reconnaissance d'objets manipulables. De manière très intéressante, l'analyse de la dynamique des co-activations indique que cette différence d'activation dépend à la fois d'une non activation du circuit fronto-pariétal lors de la perception des objets de la condition apprentissage visuel (i.e., objets vus) et d'une augmentation de son activité lors de la perception des objets de la condition apprentissage fonctionnel (i.e., objets manipulés). Cette expérience montre donc qu'utiliser des objets entraîne une activation spécifique du cortex fronto-pariétal. En effet, la fonction des objets ayant été explicitée dans les deux conditions, les différences d'activation sont imputables à la manipulation des objets lors de l'entraînement fonctionnel et non pas simplement aux connaissances relatives à la fonction des objets. De plus, les auteurs montrent qu'à la

fin de l'entraînement, les participants connaissent la fonction pour les deux types d'objet.

Ces résultats révèlent que même un court entraînement sensori-moteur impliquant des expériences directes avec les objets induit une représentation neuronale différente de ces objets. En outre, les manipulations liées à l'utilisation des objets induisent une activation des mêmes patterns neuronaux que ceux impliqués lors de la reconnaissance d'outils ou du traitement de verbes d'action (voir, Noppeney, 2008; et Pulvermüller & Fadiga, 2010 pour des revues de questions à ce sujet). Ces travaux apportent donc de solides arguments à l'hypothèse d'un ancrage des connaissances fonctionnelles dans les épisodes d'utilisation des objets. Néanmoins, les études comportementales présentées dans les sections précédentes soulignaient déjà l'implication du système moteur lors de l'accès aux connaissances fonctionnelles par le biais de l'utilisation des objets. Un des points soulevé, plus problématique, concerne l'implication du système moteur dans la prise en compte des informations volumétriques (e.g., forme, taille) par le biais des actions de préhension.

A notre connaissance, seule une étude, permet d'appréhender l'influence directe des actions sur la prise en compte d'informations volumétriques⁵⁹ (L. B. Smith, 2005a). Cette étude, réalisée chez des enfants de 2 ans ½, utilise également un paradigme d'entraînement moteur/tâche catégorielle⁶⁰. Les participants manipulent d'abord un objet arrondi, nommé « wug » en effectuant un déplacement horizontal ou vertical (L.B. Smith, 2005, Expérience 1). On leur demande ensuite de choisir entre deux nouveaux exemplaires ovoïdes (un plus haut et un plus long) celui qui appartient à la catégorie des « wug ». Les résultats obtenus dans cette tâche de catégorisation en choix forcé ou dans une tâche d'inclusion catégorielle indiquent que les enfants choisissent ou incluent majoritairement des nouveaux exemplaires de « wug » qui s'accordent avec le mouvement réalisé précédemment. En effet, les enfants ayant réalisé un déplacement vertical du « wug » choisissent des exemplaires plus hauts alors que ceux ayant réalisé

⁵⁹ Au sens d'informations relatives à la taille ou à la forme des objets telles que définies par Bub et collaborateurs (Helbig et al., 2006).

⁶⁰ Dans cet article (Smith,2005), deux expériences impliquant chacune deux tâches sont présentées. Nous présentons ici brièvement les résultats, la méthode employée est détaillée en introduction du Chapitre 5.

un déplacement horizontal choisissent des exemplaires plus longs. La seconde étude réalisée sur le même principe de manipulation/tâche d'attribution catégorielle montre que la manipulation des objets à deux mains induit des choix majoritaires d'objets symétriques alors que la manipulation des objets à une main induit des choix majoritaires d'objets asymétriques. Ces résultats suggèrent que les enfants de 2 ans ½ élargissent leurs critères d'attribution catégorielle (concernant la forme et la symétrie) en fonction des expériences qu'ils ont eues avec les objets. Cette étude est la seule permettant d'envisager que les actions comme façonnent les critères de forme des exemplaires d'une catégorie.

Ces différentes études réalisées chez les adultes et les jeunes enfants permettent donc d'envisager que les connaissances conceptuelles concernant la fonction et la forme des objets soit dérivées des interactions avec les objets.

PARTIE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION

Les différentes études présentées dans la partie théorique soulignent l'importance du lien entre les mécanismes perceptifs, moteurs et conceptuels. Différentes caractéristiques de la cognition humaine ont été mises en évidence : l'interdépendance au niveau neuronal de la perception et de l'action, la participation automatique de ces deux processus lors d'activités cognitives. Ces deux caractéristiques constituent des arguments forts en faveur d'une approche incarnée et non abstraite du fonctionnement cognitif tel qu'observé dans les activités conceptuelles, et suggèrent leur ancrage dans les expériences vécues. En particulier, de nombreux travaux ont mis en évidence une implication du système moteur lors des activités conceptuelles. Certains auteurs défendent en effet l'idée que les propriétés extrinsèques des objets (i.e., les caractéristiques visuelles telle que la taille, le volume) soient liées à la préhension des objets, alors que les propriétés intrinsèques des objets (i.e., caractéristiques telles que leur fonction) soient liées à l'utilisation des objets. Si, comme le suggère l'approche incarnée, l'implication des systèmes sensoriels et moteurs reflète des expériences antérieures avec les objets, les mécanismes en jeu lors de l'élaboration des catégories devraient permettre la prise en compte d'informations potentiellement simulables. Or les modèles de développement proposent que la construction des catégories se fasse sur la base de la similarité perceptive entre les objets, et plus particulièrement la forme globale des objets (Eimas & Quinn, 1994; Quinn, 2000; Quinn & Johnson, 2000) ou de la proximité spatio-temporelle et fonctionnelle des objets (Nelson, 1973, 1983). Bien que ces modèles de développement des catégories supposent un point de départ unitaire de la formation des catégories, de nombreux arguments démontrent que les enfants utilisent alternativement les propriétés visuelles et fonctionnelles. Dans ce contexte pluraliste, il est intéressant de mettre en parallèle la prise en compte de la forme globale des objets avec les activations liées à la préhension des objets, et la prise en compte de la similarité fonctionnelle avec les activations liées à l'utilisation des objets. Ainsi, on peut supposer que la détection

de la similarité visuelle et celle de la similarité fonctionnelle coexistent parce qu'elles sont dérivées des épisodes de rencontre avec les objets. Cependant, peu de travaux ont à ce jour permis de montrer que les connaissances conceptuelles sont intrinsèquement liées au contexte d'apprentissage, de rencontre des objets.

Dans le cadre de cette thèse, plusieurs études ont été conduites chez les enfants afin d'évaluer l'implication des actions sur l'organisation et l'utilisation des connaissances conceptuelles. Dans le chapitre 4, nous souhaitons tout d'abord présenter deux études préliminaires aux travaux de thèse. Dans ces études, nous nous sommes intéressés à l'existence des simulations sensori-motrices chez les enfants à partir de 7 ans. Si la première étude nous a permis de démontrer l'existence des simulations visuelles et motrices lors de la vérification de propriété, la seconde n'a pas permis de mettre en évidence le caractère automatique des simulations liées à la manipulation des objets. Nous avons alors choisi d'orienter nos travaux vers l'étude de l'impact direct des expériences sensorielles et motrices (i.e., les manipulations d'objet) sur l'élaboration des catégories. Le chapitre 5 présente cinq études expérimentales qui tentent d'évaluer le type d'information pris en compte par le biais de manipulation et leur impact sur les conduites catégorielles des enfants de 5 ans, 7 ans et 9 ans. D'après les conclusions des recherches présentées dans le chapitre 3, les gestes de préhension permettraient la prise en compte de caractéristiques volumétriques des objets alors que les gestes d'utilisation permettraient la prise en compte de caractéristiques fonctionnelles. Nous avons donc utilisé un paradigme d'entraînement/manipulation, en tentant de dissocier deux types d'entraînement moteur, l'un impliquant la réalisation d'action de préhension et l'autre impliquant la réalisation d'action d'utilisation.

Les études 3 et 4 permettent d'évaluer la pertinence de cette hypothèse en contrastant un entraînement « saisir à pleine main » avec un entraînement « faire rouler » sur la catégorisation d'objets non connus, nouveaux (Etude 3) et d'objets familiers, de la vie quotidienne (Etude 4). Dans ces deux études, l'entraînement précède une tâche de catégorisation en choix forcé dans laquelle l'enfant devait choisir entre un objet compatible (avec la préhension à pleine main ou avec l'utilisation faire

rouler). Si les choix catégoriels des enfants de 9 ans sont modulés par les deux entraînements (Etude 3), seuls les choix catégoriels des enfants de 5 ans ayant saisi les objets sont compatibles avec l'entraînement (Etude 4). Pris dans leur ensemble, les résultats pourraient suggérer un lien entre préhension et choix d'objet de même volume. Cependant les choix d'objet de même volume pourraient refléter une stratégie de regroupement des objets sur la base de la similarité visuelle entre les objets vus lors de l'entraînement et les images d'objet en test. Nous avons donc d'abord cherché à neutraliser l'influence des informations visuelles lors de l'entraînement (Etude 5). Dans cette étude, les enfants manipulent les objets sans les voir. Les résultats issus de cette étude montrent qu'en l'absence d'informations visuelles lors de l'entraînement, les enfants catégorisent sur la base de la similarité de volume uniquement, nous n'observons plus d'effet de l'entraînement sur la prise en compte de propriétés spécifiques. Les résultats des études 3 à 5 nous amènent à considérer que les informations volumétriques constituent un indice plus stable que les informations d'utilisation, cette prédominance des informations volumétriques pouvant dépendre à la fois de la perception d'affordance à la préhension et de l'entraînement « saisir à pleine main ». L'étude 6 engageant des stimuli jugés comme porteurs d'affordances spécifiques aux gestes réalisés (affordance de préhension ou d'utilisation) permet d'étudier spécifiquement le rôle de l'entraînement sur la prise en compte d'affordances. Dans cette étude nous contrastons deux nouveaux entraînements : un entraînement préhension « saisir pince fine » et un entraînement utilisation « appuyer ». La encore, les résultats indiquent un biais catégoriel en faveur des objets préhensibles. Cependant, si les choix catégoriels d'objets préhensibles semblent être dirigés par la perception d'affordances au geste de préhension, les affordances du geste d'utilisation ne semblent pas sous-tendre les choix d'objets de même utilisation. Il semblerait donc que les informations relatives à l'utilisation des objets nécessitent la prise en compte d'informations visuelles (Etude 5) mais également la réalisation d'un entraînement moteur (Etude 3). L'étude 7, en analysant le décours temporel de la prise en compte des informations volumétriques et des informations fonctionnelles d'utilisation dans un paradigme d'enregistrement des mouvements oculaires lors de la

catégorisation au niveau de base (i.e. identification des exemplaires manipulés) cherche à dissocier l'influence de la perception d'affordances de celle de l'entraînement. Les résultats de cette étude suggèrent que ces processus influenceraient conjointement le traitement catégoriel des enfants de 7 et 9 ans, cependant cette influence conjointe varie en fonction de l'entraînement et de l'âge. De nombreuses questions sont soulevées par les résultats de ces différentes études. Si nous avons tenté d'éliminer certaines hypothèses au fur et à mesure de l'avancée des travaux, les résultats obtenus sont loin d'être clairs. Le dernier chapitre propose une synthèse des différents résultats et tente de les articuler avec les conceptions théoriques dérivées des travaux chez l'adulte et chez l'enfant.

Chapitre 4. ETUDES PRELIMINAIRES

Dans le Chapitre 3, nous avons rapporté deux paradigmes montrant que l'implication des informations sensorielles et motrices lors du traitement conceptuel repose sur la simulation de ces informations. Le paradigme de transfert de modalité associé à la vérification de propriété permet d'envisager les caractéristiques communes des systèmes perceptifs et conceptuels (e.g., Ferrier et al., 2007; Solomon & Barsalou, 2004). Quant aux paradigmes d'amorçage classique, ils ont révélé que les informations visuelles (Kellenbach et al., 2000), auditives (Brunel et al., 2010) et celles liées à l'utilisation des objets (Myung et al., 2006) sont constitutives des concepts d'objet. Les deux études préliminaires que nous présentons ici visent à tester l'existence de simulations sensori-motrices chez les enfants. En effet, nous avons suggéré dans le Chapitre 2 que les positions incarnées et les positions défendues par les modèles développementaux permettent d'appréhender le développement des connaissances comme résultant des interactions de l'enfant avec son environnement. Néanmoins, avant d'évaluer cette dernière proposition, ce qui constitue le cœur du travail de thèse, il semble pertinent de tester l'existence des simulations sensorielles et motrices chez les enfants.

Etude 1. Paradigme de vérification de propriété chez les enfants de 7 ans, et les adultes : l'hypothèse d'un coût de transfert de propriétés

Cette étude, réalisée entre 2007 et 2008, ne fait pas à proprement parlé parti du travail de thèse. Cependant, les résultats de cette étude ont constitué le point de départ de notre réflexion et nous ont permis d'envisager une influence spécifique de l'action. Nous n'en présentons ici qu'un court résumé mais l'ensemble de la procédure et des résultats sont détaillés dans l'article publié et disponible en Annexe (Ambrosi, Kalenine, Blaye, & Bonthoux, 2011).

1.1. Objectifs

L'objectif de cette étude est d'interroger l'existence des simulations sensori-motrices chez les enfants de 7 ans et les adultes. Nous avons utilisé une tâche de vérification de propriété, associée à un paradigme de transfert de modalité sensorielle. Ce paradigme permet, chez les adultes, la mise en évidence d'un coût de transfert de modalité sensorielle : vérifier une propriété faisant référence à une modalité sensorielle (e.g., auditive : abeille-bourdonne) est plus long lorsque la vérification précédente implique une modalité sensorielle différente (e.g., gustative : canneberge-aigre) que la même modalité sensorielle (e.g., auditive : abeille-sonne) (Marques, 2006; Pecher et al., 2003, 2004; van Dantzig et al., 2008). Selon l'approche incarnée de la cognition, l'accès aux connaissances conceptuelles impliquerait leur simulation dans les aires sensorielle et motrice activées lors de la rencontre avec les objets (e.g., Barsalou, 2008). Le coût obtenu lors de la vérification de propriété témoignerait alors d'un déplacement de la simulation d'une modalité à une autre (Pecher et al., 2003, 2004).

1.2. Méthode

Cette étude inclut un groupe d'enfants de 7 ans (M=7 ans et 9 mois, ET=3 mois) et un groupe d'adultes de 20 ans, étudiants à l'université Pierre Mendès France (M=22 ans ; ET=3 ans).

L'hypothèse d'un coût de transfert de modalité dans un paradigme de vérification de propriété implique un design particulier. En effet, la succession de deux vérifications (i.e., présentation successive de deux paires concept-propriété) doit dans la moitié des cas impliquer des propriétés de même modalité, et dans l'autre moitié des cas des propriétés de modalité différentes. La procédure utilisée dans cette étude est une adaptation de celle utilisée par Pecher et al. (2003).

Cette adaptation a donc demandé un effort à la fois de simplification du matériel mais également un contrôle rigoureux. Nous avons par exemple choisi des concepts connus des enfants de 5 ans et les propriétés ont été sélectionnées à partir de descriptions fournies par les enfants. A la différence des autres études, seules deux modalités sont impliquées : la modalité visuelle et la modalité motrice. Ces deux modalités ont été choisies car : *a*) l'activation des aires visuelles et motrices lors de la lecture de mot laisse supposer que ces deux types d'information participent au traitement conceptuel ; *b*) de nombreuses propriétés visuelles et motrices peuvent être trouvées ; *c*) ce sont des propriétés relativement bien maîtrisées par les enfants de 7 ans. Ainsi, le transfert de modalité concerne le passage de la modalité visuelle à la modalité motrice, et inversement.

Les items d'intérêt (i.e. 96 paires concept-propriété) ont été créés en associant 16 noms d'objet manipulable (e.g. pinceau) à quatre propriétés, deux propriétés visuelles (« a un manche », « avec des poils ») et deux propriétés motrices (« se rince à l'eau », « se trempe dans la peinture »). La succession de deux items d'intérêt implique donc la vérification de deux propriétés vraies. Cette succession peut impliquer des propriétés de même modalité : visuelles (e.g., pinceau - « a un manche », puis pinceau - « avec des poils ») ou motrices (e.g., pinceau - « se rince à l'eau », puis pinceau - « se trempe dans la peinture ») ou des propriétés de modalités différentes : visuelles puis motrices (e.g., pinceau - « a un manche », puis pinceau - « se trempe dans la peinture »), ou motrices puis visuelles (e.g., pinceau - « se rince à l'eau », puis pinceau - « avec des poils »). La propriété présentée en deuxième occurrence est une propriété cible, la propriété présentée en première occurrence est une propriété contextuelle. Ainsi une même

propriété cible (e.g., « a un manche ») est vérifiée une fois dans un contexte de même modalité et une fois dans un contexte de modalité différente.

1.3. Principaux résultats et Discussion

Une analyse de variance $2 \times 2 \times 2$ est réalisée sur les temps de réponse moyens des propriétés cibles correctement vérifiées avec le type de condition de vérification de la propriété cible (même modalité *vs.* modalité différente) et le type de propriété (visuelle *vs.* motrice) comme facteurs intra-sujet et l'âge (7 ans ou adulte) comme facteur inter-sujet.

Cette analyse indique un effet principal de l'âge [$F(1, 34) = 23,22$; $MCE = 0,13$; $p < .001$], les adultes sont en moyenne plus rapides que les enfants, et un effet la condition de vérification (même *vs.* différentes modalités) [$F(1, 34) = 4,81$; $MCE = 0,015$; $p = .035$]. Cet effet montre que les propriétés cibles sont vérifiées plus lentement lorsqu'elles ont été vérifiées après une propriété contextuelle de modalité différente que de même modalité, indépendamment de l'âge [$F(1, 34) < 1$]. Ce coût consécutif au transfert de modalité sensorielle lors de la vérification de propriété est de 60 ms pour les adultes et de 141 ms à 7 ans. Cependant, l'absence d'effet d'interaction entre la condition de vérification et le type de propriété vérifiée (visuelle ou motrice) suggère que ce coût est équivalent que le transfert de modalité implique le passage de la modalité visuelle à la modalité motrice ou de la modalité motrice à la modalité visuelle [$F(1, 34) = 2,48$; $MCE = 0,010$; $p = .12$].

1.4. Conclusion

Finalement, conformément à nos attentes, le transfert entre modalités sensorielles dans une tâche de vérification de propriété entraîne un coût, dès 7 ans. Selon l'hypothèse d'une simulation du contenu sensoriel et moteur de la propriété, ce coût témoigne d'un déplacement de la simulation sensorielle des aires visuelles ou aires motrices (ou inversement) (Solomon & Barsalou, 2004). Cette étude permet de conclure que dès 7 ans, les enfants simuleraient le contenu sémantique des propriétés

conceptuelles, appuyant l'hypothèse d'une cognition incarnée et distribuée chez les enfants.

Etude 2. Paradigme d'amorçage subliminal à 9 ans et chez les adultes

Les résultats de l'étude 1 ont démontré l'existence de simulations visuelles et motrices dans une tâche de vérification de propriété chez les enfants de 7 et 9 ans. L'observation d'un coût de transfert de modalité comparable à celui observé chez les adultes permet de considérer les simulations sensori-motrices comme un mécanisme de traitement conceptuel efficient dès 7 ans. En particulier, les propriétés motrices des concepts semblent être simulées lorsque de la vérification de phrase du type « la balle – se lance » ou « la petite cuillère – pour manger un yaourt ». Ainsi deux types de propriété motrice ont été utilisés : des propriétés dépeignant des actions globales (e.g., lancer) ou des actions spécifiques à un objet (e.g., pour manger un yaourt). Or les actions spécifiques réfèrent à des épisodes de rencontre bien particuliers, et sont supposées être automatiquement activées lors de l'accès au concept.

2.1. Objectifs

L'objectif principal de l'étude 2 est donc d'étudier plus précisément l'accès à ces propriétés de manipulation des objets. En d'autres termes, nous souhaitons évaluer l'influence des informations sensorielles et motrices dérivées de l'utilisation des objets sur l'organisation des connaissances en mémoire. La question est de savoir si deux objets apparemment différents (e.g., un tournevis et un robinet) sont implicitement associés en mémoire par l'intermédiaire d'un geste d'utilisation commun (e.g., tourner).

L'amorçage sémantique est une des procédures communément utilisées pour étudier les caractéristiques de la mémoire sémantique et semble particulièrement adapté à la question de recherche que nous nous posons. En effet, ce paradigme a permis de mettre en évidence chez l'adulte, que la lecture d'un nom ou la dénomination d'une image est facilitée par la présentation au préalable d'un concept présentant des similarités visuelles ou de manipulation (Myung et al., 2006). Par exemple, Moss, Ostrin, Tyler, & Marslen-Wilson (1995) ont observé un effet

d'amorçage automatique lorsque la relation entre deux concepts est de type instrumental (e.g., marteau – ongle, le marteau tape sur l'ongle) mais pas de type script (e.g., restaurant – serveur), suggérant ainsi une organisation des connaissances en mémoire sensible au contexte d'utilisation des objets. De plus, la dénomination d'une image (Helbig et al., 2006) ou la décision lexicale sur un mot entendu (Myung et al., 2006) est facilitée par la présentation préalable d'un stimulus présentant des caractéristiques de manipulation commune (e.g., piano – machine à écrire). Ces deux résultats suggèrent que les informations sensorielles et motrices liées à la manipulation des objets sont constitutives des concepts d'objet eux-mêmes. Ils s'interprètent aisément dans le cadre très général de la cognition incarnée : les informations encodées lors de la manipulation des objets sont réactivées lors du traitement conceptuel des objets. Cependant, dans ces deux expériences, les amorces sont traitées explicitement. Cela ne permet donc pas de conclure à une activation automatique¹ des informations sensorielles et motrices lors du traitement conceptuel (Helbig et al., 2006; Mahon & Caramazza, 2008).

Le but de l'étude que nous présentons ici est double : il s'agit d'une part de préciser l'influence des informations sensorielles et motrices dans le traitement conceptuel des objets et d'autre part, d'évaluer l'influence de ce type d'information sur l'organisation des connaissances chez l'enfant de 9 ans. Nous avons donc utilisé un paradigme d'amorçage subliminal dans lequel la présentation d'une cible (une image d'objet) est précédée par la présentation très brève d'une amorce (un mot écrit). En condition reliée, l'amorce et la cible correspondent à deux objets qui s'utilisent de manière similaire (e.g., piano – calculatrice) alors que dans la condition non reliée, ils font référence à des objets ne présentant aucune similarité (e.g., violon – calculatrice). Si les informations sensorielles et motrices liées à l'utilisation des objets sont constitutives des concepts d'objet et automatiquement réactivées lors des processus

¹ Le terme automatique est utilisé ici en référence aux caractéristiques de la cognition incarnée telles que définies par Barsalou (1999) et discutées par Mahon & Carramazza (2008), et non pas en référence aux caractéristiques de la mémoire sémantique mises en évidence dans le paradigme d'amorçage (Posner & Snyder, 1975).

conceptuels, la dénomination d'une image cible sera plus rapide après la présentation d'une amorce reliée qu'après la présentation d'une amorce non reliée.

2.2. Méthode

Participants :

Quarante-quatre adultes (27 femmes et 17 hommes d'âge moyen 22 ans et 9 mois, écart-type 9 ans et 10 mois) et 43 enfants de CM1 (21 filles et 22 garçons d'âge moyen 9 ans et 8 mois, écart-type 4 mois) ont participé à cette expérience. Les passations des adultes ont eu lieu dans les locaux universitaires, celles des enfants dans une pièce calme de leur école. Pour chaque enfant, nous avons une autorisation administrative ainsi que l'accord préalable des parents.

Concernant les aspects de sélection du matériel, nous avons filmé à leur domicile 14 enfants supplémentaires, tous scolarisés en classe de CM1.

Matériel :

L'hypothèse d'un effet d'amorçage reflétant l'organisation des connaissances en mémoire nécessite un contrôle rigoureux du matériel expérimental. Dans notre expérience, nous voulions qu'une seule relation entre l'amorce et la cible soit effective en condition reliée : celle d'une manipulation commune. De plus, cette similarité devait être connue et reconnue des enfants de 9 ans. Nous avons donc sélectionné à partir des bases de données Manulex et BD2I, des items connus et dénommés par les enfants de 8 ans, ces items ayant une fréquence d'apparition moyenne dans la littérature enfantine². A partir de ces items, nous avons construit des triplets incluant une cible (e.g., caddie), une amorce reliée impliquant les mêmes gestes d'utilisation (e.g., tondeuse) et une amorce non reliée n'impliquant pas les mêmes gestes d'utilisation (e.g., arrosoir). Par ailleurs, certains travaux rapportant une modulation des effets d'amorçage par la fréquence de cooccurrence des items (e.g., McKoon & Ratcliff, 1992) mais ne disposant

² Les mots peu fréquents induisent des effets d'amorçage plus importants que les mots fréquents (pour des revues sur la question, voir Hutchison, 2003; Plaut & Booth, 2000), ces effets semblent cependant plus déterminants chez les adultes que chez les enfants (Plaut & Booth, 2000). Nous avons choisi des mots de fréquence d'apparition dans le lexique équivalente.

pas de norme de cooccurrence chez les enfants français, l'influence potentielle de ce facteur a été minimisée en choisissant pour chaque cible une amorce reliée et une amorce non reliée appartenant au même schéma. Par exemple, la cible « caddie » est précédée de l'amorce « tondeuse » en condition reliée et de l'amorce « arrosoir » en condition non reliée, les amorces « tondeuse » et « arrosoir » appartenant au même schéma « jardiner ».

La similarité d'utilisation des objets en condition reliée (et leur différence d'utilisation en condition non reliée) a été contrôlée en demandant à 3 juges de l'évaluer à partir de vidéos d'enfants mimant les gestes d'utilisation des images³. Le degré de similarité entre les mimes de la cible et des amorces (reliées et non-reliées) a été évalué sur une échelle en 5 points allant de « très dissimilaire » à « très similaire ». Ceci a permis la sélection de paires amorce reliée - cible dont les mimes d'utilisation ont été jugés comme « très similaires » et de paires amorce non reliée – cible dont les mimes d'utilisation ont été jugés comme « très dissimilaires ».

Finalement, le design expérimental comporte 16 triplets : cible – amorce reliée – amorce non reliée. Chaque cible est présentée après une amorce reliée et après une amorce non reliée. Pour chaque cible, l'ordre de présentation des paires reliées et non reliées est contrebalancé entre deux listes de manière à ce que la première occurrence de la cible soit en contexte relié dans une liste et en contexte non relié dans l'autre liste ; dans chaque liste, la moitié des cibles apparaît d'abord en contexte relié. Les participants passent les deux listes, c'est-à-dire 64 essais, chaque cible étant dénommée 4 fois.

Procédure :

Dans cette expérience, les amorces sont des mots écrits et les cibles des dessins en noir et blanc de dimensions 450*450 pixels (px), que les participants doivent dénommer le plus vite possible. Afin de s'assurer que les enfants savent lire les mots et

³ 14 enfants de 9 ans ont été filmés mimant l'utilisation des objets présentés sous forme d'images en noir et blanc aux dimensions 450*450 pixels (px). Les images étaient celles que nous avons sélectionnées à partir des bases de données. Ce pré-test nous permet de nous assurer à la fois de la connaissance de l'utilisation de chaque objet par les enfants de 9 ans et de la similarité ou dissimilarité des paires amorce-cible.

connaissent les images, ils lisent à haute voix la totalité des mots amorces et dénomment l'ensemble des images cibles avant d'effectuer la tâche d'amorçage.

La tâche d'amorçage est informatisée grâce au logiciel E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA). Chaque essai débute par un point de fixation pendant 500 millisecondes (ms). Puis 3 masques constitués de lettres se succèdent immédiatement, suivis par le mot amorce. Les mots amorces n'ayant pas tous le même nombre de lettres, le temps de présentation de l'amorce est fonction de sa taille, les amorces sont présentées plus longtemps pour les enfants que pour les adultes. Le mot amorce est immédiatement suivi d'un masque de même longueur que le mot. L'image cible apparaît ensuite et reste affichée jusqu'à la réponse du participant. Le temps total entre l'apparition de l'amorce et l'apparition de la cible (Stimulus Onset Asynchronie, SOA) est fixé à 250 ms. La Figure 5 schématise la procédure utilisée chez les adultes et chez les enfants. L'apparition de la cible déclenche l'enregistrement de la réponse vocale. L'enregistrement se termine avec le début de l'essai suivant.

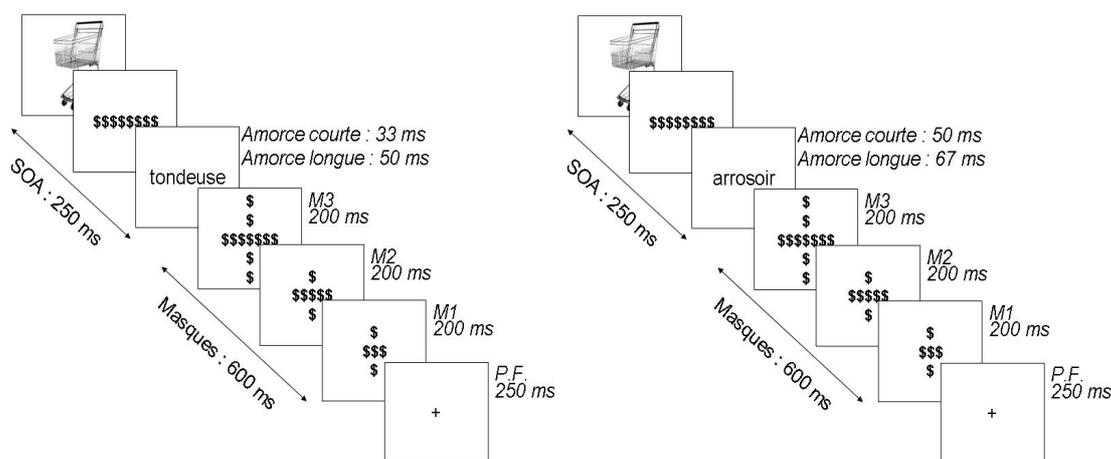


Figure 5 : Procédure de la tâche d'amorçage utilisée chez les adultes (à gauche) et chez les enfants (à droite). Bien que le temps de présentation de l'amorce diffère selon l'âge des participants et la longueur du mot amorcé, le SoA est fixé à 250 ms. La figure montre un exemple de paire amorce cible reliée (à gauche) et non reliée (à droite).

2.3. Résultats et Discussion

Les données de 5 participants (4 enfants et 1 adulte) ont été éliminées pour cause de problèmes lors de l'enregistrement vocal et celles de 2 adultes supplémentaires

parce qu'ils avaient identifié les amorces. Finalement les analyses concernent un groupe de 41 adultes et un groupe de 39 enfants de 9 ans.

Les spectres vocaux des enregistrements ont été analysés à l'aide du logiciel Praat version 5.1.31. Les temps de la latence à la dénomination ou Temps de Réaction (TR en ms) entre l'apparition de la cible et l'initiation de la réponse vocale ont été déterminés pour chaque cible en condition reliée (R) et en condition non reliée (NR). Le lissage des données consiste à éliminer les items dont les temps de latence sont supérieurs à 3 écarts-types de la moyenne de chaque participant (2,1 % des données des enfants et des adultes), les items ayant donné lieu à des réponses fausses⁴ (2,4% des données des enfants et 2,3% des données des adultes) ou des hésitations⁵ (6,3% des données des enfants et 3,2% des données des adultes) ont été exclus des analyses. Le Tableau 2 présente les temps de latence moyens observés dans chaque condition (reliée *vs.* Non reliée).

L'ANOVA effectuée sur les TR moyens avec l'âge (9 ans, adultes) comme facteur inter-sujets et le contexte de présentation de la cible (relié ou non relié) comme facteur intra-sujet indique que les adultes dénomment plus vite les cibles que les enfants de 9 ans [$F(1,78) = 97,01$, $CMe = 0,02$; $p < .0001$]. Aucun effet principal du contexte de présentation de la cible ni d'interaction n'est observé. Une analyse par item, avec l'âge (9 ans, adultes) et le contexte de présentation de la cible (relié ou non relié) comme facteurs intra-sujet confirme ces résultats. Les items sont plus rapidement dénommés par les adultes que les enfants [$F(1,15) = 215,8$, $CMe = 0,004$; $p < .0001$].

Tableau 2 : Temps de latence moyens de dénomination en ms (écarts types entre parenthèses) en fonction du contexte de présentation de la cible (Relié – R ; Non Relié – NR) et de l'âge des participants.

| Enfants | | Adultes | |
|------------|------------|------------|------------|
| Relié | Non Relié | Relié | Non Relié |
| 935 (0,33) | 932 (0,32) | 705 (0,19) | 706 (0,18) |

4 En plus des erreurs (arrosoir pour robinet, par exemple), on considère aussi les inexactitudes, (par exemple mouchoir à la place de chiffon ; journal à la place de livre ; casque à la place de écouteur), comme erreur.

5 Sont regroupés sous le terme générique d'hésitations, les essais pour lesquels le mot est précédé de « euh », « t », ou est mal prononcé.

Cette expérience avait pour but de tester l'implication des informations liées à l'utilisation des objets dans l'organisation des connaissances en utilisant une procédure d'amorçage subliminal. Les résultats obtenus ne mettent en évidence aucun effet d'amorçage, suggérant ainsi que les caractéristiques liées à la manipulation des objets n'influencent pas la dénomination des images. Cette conclusion doit néanmoins être nuancée.

Tout d'abord, des effets d'amorçage par la manipulation commune des objets ont été obtenus dans des tâches de décision lexicale de mots entendus et de dénomination de noms d'objet (Myung et al., 2006). De même, il a été montré que l'exécution de geste peut être facilitée par la présentation préalable d'une image lorsque le geste induit par l'image correspond au geste à effectuer (pour deux revues voir : Dehaene, 2004; Lindemann et al., 2006). Ces études suggèrent ainsi que les informations liées à l'utilisation des objets sont activées lors de la perception de mots ou d'images d'objet lorsqu'un traitement de l'amorce est effectif. Dans notre expérience, la présentation subliminale de l'amorce n'a peut être pas permis l'activation des informations sémantiques. Cette interprétation semble cependant peu probable au vu des résultats obtenus en imagerie. En effet, quelques études en IRMf démontrent que la présentation très brève d'une amorce active des structures cérébrales impliquées dans les traitements sémantiques (Dehaene & Changeux, 2011).

Un autre facteur à considérer est le format de l'amorce utilisée. Carr et ses collaborateurs (Carr, McCauley, Sperber, & Parmelee, 1982) ont conduit une étude d'amorçage par répétition en faisant varier les caractéristiques des amorces et montrent que l'accès au contenu sémantique des images est plus rapide et plus automatique que celui au contenu sémantique des mots tandis que la dénomination précise (l'accès au nom) est plus rapide et plus automatique pour les mots que pour les images. A notre connaissance, les amorces utilisées dans les études montrant des effets d'amorçage par la similarité d'utilisation des objets sont souvent des images (e.g., Helbig et al., 2006; Lindemann et al., 2006; mais voir Myung et al., 2006 pour des amorces présentées auditivement). Helbig et ses collaborateurs (Helbig et al., 2006) précisent que le traitement d'une image est facilité par la présentation préalable d'une autre image mais

pas d'un nom. Ainsi, les informations sensorielles et motrices seraient activées lors de la perception visuelle des images et liées à la perception d'affordances dans les stimuli images.

Nous n'avons pas été en mesure de mettre en évidence dans cette expérience une participation des informations d'utilisation des objets dans l'accès aux connaissances en mémoire des enfants de 9 ans et des adultes. Des études supplémentaires seraient nécessaires afin de comprendre comment ces informations viennent influencer les traitements conceptuels des enfants.

Les deux études présentées dans ce chapitre avaient pour but de mettre en évidence les caractéristiques sensorielles et motrices des connaissances conceptuelles chez les enfants. Cet axe de recherche permet d'évaluer la pertinence d'une approche incarnée dans l'étude du développement des catégories. D'un point de vue empirique, les résultats de la première étude sont en faveur d'une organisation des connaissances chez les enfants en fonction des modalités sensorielles et motrices. Plus précisément, le coût de transfert bidirectionnel entre vérification d'une propriété de modalité visuelle et motrice semble indiquer que les vérifications de propriétés impliquent une simulation du contenu visuel et moteur des propriétés. Néanmoins, la deuxième étude, avec une procédure d'amorçage subliminal, n'a pas permis de montrer une simulation des propriétés motrices d'utilisation des objets. D'un point de vue théorique, l'approche incarnée apparaît tout à fait pertinente pour l'étude de l'organisation des connaissances conceptuelles chez l'enfant. En effet, cette approche permet de faire l'hypothèse directe que les connaissances conceptuelles sont dérivées des situations de rencontre et des expériences d'utilisation des objets. L'ancrage des connaissances dans les situations d'interaction avec les objets fait écho aux propositions de Nelson qui postule que les actions réalisées sur les objets sont au cœur de l'élaboration conceptuelle. Les deux études présentées dans le chapitre suivant proposent d'étudier spécifiquement le rôle de la manipulation sur la catégorisation d'objets nouveaux. Dans les études suivantes, nous avons tenté d'évaluer quelles informations peuvent être prises en compte lors de la manipulation d'objet et quel est leur impact sur les processus catégoriels des enfants.

Chapitre 5. LE ROLE DE LA MANIPULATION DANS L'ELABORATION DES CATEGORIES

Les expériences décrites dans la partie introductive et les résultats de l'étude 1 étayent l'idée d'un lien fort et bidirectionnel, d'une collaboration, entre les mécanismes de perception et d'action dans les processus conceptuels. Bien que ces travaux caractérisent les informations sensorielles et motrices influençant les activités catégorielles, ils ne permettent que rarement d'attribuer cette influence aux situations de rencontre avec les objets. Cette implication conjointe des systèmes sensoriels et moteurs lors du traitement conceptuel, largement documentée chez l'adulte (voir e.g., Barsalou, 2008; Borghi & Cimatti, 2010 pour des revues de questions), permet d'argumenter que les connaissances conceptuelles sont incarnées. La position incarnée suppose que l'accès aux connaissances conceptuelles relatives à un objet ou une catégorie implique une réactivation (dans les aires sensorielles et motrices) des configurations d'activation sensorielles et motrices impliquées lors de la rencontre avec l'objet (Barsalou, 2005b). Notons tout de même que, d'un point de vue théorique, cette réactivation des informations sensorielles et motrices est conditionnée par un ancrage des connaissances dans les situations d'interaction avec les objets (Barsalou, 2008). Certains résultats comportementaux peuvent être interprétés dans ce sens. Par exemple, la présentation en amorce d'image de main dans une position de préhension congruente avec la préhension d'un objet facilite le traitement conceptuel de l'image de cet objet, chez les enfants de 7 et 9 ans et les adultes (Kalenine et al., 2009). Chez les adultes, des effets d'amorçage par la manipulation commune des objets (e.g., clé – tournevis et l'action de tourner) suggèrent que les caractéristiques liées aux actions sont simulées lors du traitement des noms (Myung et al., 2006) ou images (Labeye et al., 2008). Les performances des enfants entre 5 et 12 ans sont également influencées par la présentation de mimes d'utilisation des objets en amorce (Mounoud et al., 2007).

D'autres études, plus rares, apportent des preuves directes de l'influence des interactions sensorielles et motrices sur le traitement conceptuel. Ces études utilisent un paradigme en deux phases. Les participants sont d'abord soumis à un entraînement

sensori-moteur au cours duquel ils interagissent avec des objets et réalisent ensuite une tâche catégorielle. Leurs performances dans la tâche de catégorisation sont analysées relativement à la condition d'entraînement sensori-moteur. Les résultats obtenus chez l'adulte suggèrent que les informations motrices liées aux actions d'utilisation sur les objets sont activées lors du traitement conceptuel de ces objets (Bellebaum et al., 2012; Kiefer et al., 2007; Weisberg et al., 2007).

A notre connaissance, il n'existe chez les enfants, qu'un seul article présentant des résultats issus de deux études utilisant un paradigme de manipulation/catégorisation (L. B. Smith, 2005a). Les deux études emploient le même protocole expérimental. Dans la première phase d'entraînement les enfants sont répartis dans trois conditions : une condition action dans laquelle ils manipulent un objet nommé « wug » 3 fois, une condition action vue dans laquelle ils regardent l'expérimentateur manipuler le « wug » 3 fois, et une condition sans action, dans laquelle l'expérimentateur dénomme plusieurs fois l'objet. Plus précisément ; les auteurs étudient l'influence du déplacement horizontal *vs.* vertical (Expérience 1) et l'influence d'une manipulation des objets à une main *vs.* à deux mains (Expérience 2).

L'enfant réalise ensuite une tâche en choix forcé suivi d'une tâche d'identification de l'appartenance catégorielle. Dans la tâche en choix forcé, l'enfant doit identifier le « wug » parmi deux objets. Dans l'expérience 1, chaque essai comporte un exemplaire de « wug » plus long (i.e., compatible avec le déplacement horizontal) et un exemplaire de « wug » plus haut (i.e., compatible avec le déplacement vertical). Dans l'expérience 2, chaque essai comporte un exemplaire de « wug » dissymétrique (i.e., compatible avec la manipulation uni-manuelle) et un exemplaire de « wug » symétrique (i.e., compatible avec la manipulation bi-manuelle).

Dans la tâche d'identification, ces mêmes objets sont présentés un par un, l'enfant doit alors dire si cet objet est un « wug ». Les enfants ayant réalisé un déplacement vertical du « wug » choisissent majoritairement et incluent majoritairement les exemplaires plus hauts. Au contraire, les enfants ayant réalisé un déplacement horizontal choisissent majoritairement et incluent majoritairement les exemplaires plus longs (Expérience 1). Les enfants ayant manipulé le « wug » à une main choisissent

majoritairement et incluent majoritairement les exemplaires dissymétriques alors que ceux ayant manipulé le « wug » à deux mains choisissent majoritairement et incluent majoritairement les exemplaires symétriques. Les conditions action vue et sans action n'influencent pas le type d'objet choisis, les choix moyens et les inclusions moyennes étant équivalents dans ces deux conditions.

Ainsi, les enfants de 2 ans $\frac{1}{2}$ élargissent leurs critères d'attribution catégorielle (concernant la taille et la symétrie) en fonction des expériences qu'ils ont eues avec les objets. Puisque les actions réalisées sur les objets modifient l'indice de forme signant l'appartenance catégorielle, ce résultat est en accord avec une perspective incarnée des connaissances dans laquelle le développement des concepts serait liés aux différentes expériences sensori-motrices (e.g., Barsalou, Breazal, & Smith, 2007). De plus, ce résultat complète les résultats obtenus chez les adultes. Les informations prises en compte par le biais d'action sur les objets concernent également la fonction/utilisation des objets (Bellebaum et al., 2012; Kiefer et al., 2007; Weisberg et al., 2007).

Comme le suggère l'approche théorique proposée par Barsalou (Barsalou, 1999, 2008), les connaissances conceptuelles seraient directement dérivées des contextes de rencontre avec les objets. En empruntant la méthode expérimentale de Linda Smith (2005a), nous avons proposé plusieurs expériences permettant de contraster l'influence de gestes de préhension (à pleine main ou à 2-3 doigts) et de gestes d'utilisation (faire rouler ou appuyer) sur la catégorisation ultérieure de nouveaux objets. Si, les connaissances conceptuelles sont directement dérivées des contextes de rencontre avec les objets (Barsalou, 2008), les manipulations de type « préhension » devraient permettre la prise en compte de propriétés volumétriques liées à la taille des objets. Les manipulations de type « utilisation » devraient permettre la prise en compte de propriétés liées à la fonction des objets. Les expériences se déroulent donc en deux phases, une première phase de manipulation d'objets (i.e., entraînement) et une seconde phase de catégorisation d'images d'objet. Ce paradigme a été utilisé dans toutes les études. Les différentes variations appliquées seront présentées au fur et à mesure.

Comparer l'influence respective de la préhension et de l'utilisation des objets sur la prise en compte spécifique d'informations volumétriques ou d'utilisation est motivée par plusieurs résultats chez l'adulte. En effet, l'implication des gestes de préhension sur le traitement conceptuel est classiquement interprétée comme reflétant la correspondance entre exécution du geste de préhension et informations volumétriques automatiquement perçues sur les objets (e.g., Tucker & Ellis, 2001), mais également comme le résultat d'une simple exposition à des stimuli saisissables (e.g., Buxbaum & Kalénine, 2010). En filigrane de ces deux positions se pose la question de la simulation des actions préalablement effectuées sur les objets. Les conditions d'entraînement impliquant la préhension devraient impacter spécifiquement le traitement conceptuel en favorisant la prise en compte des informations volumétriques des objets. Les conditions d'entraînement impliquant des gestes d'utilisation nous permettent, quant à elles, d'étudier leur impact sur la prise en compte d'informations fonctionnelles, chez l'enfant. Ces résultats pourraient venir, de par l'approche développementale, préciser les résultats obtenus chez l'adultes. De plus, les travaux réalisés chez l'adulte, qui concluent à une influence de la manipulation sur la prise en compte des informations fonctionnelles, le font à partir de l'observation d'activations lors de la reconnaissance d'objet manipulé de manière fonctionnelle d'un circuit fronto-pariétal également impliqué lors du traitement des concepts d'outils (Bellebaum et al., 2012). Ceci suggère que les participants, grâce à l'utilisation des objets, les considèrent comme des outils, mais ne permettent pas d'évaluer que des informations spécifiques et consécutives à la manipulation sont constitutives des concepts d'objet.

Le paradigme que nous utilisons permet de faire l'hypothèse que les choix catégoriels dépendront de la condition de manipulation précédente. Les enfants devraient ainsi considérer comme équivalents des objets de même volume s'ils ont réalisé un geste de saisie (à pleine main ou à 2-3 doigts), et des objets de même utilisation s'ils ont réalisé un geste d'utilisation (faire rouler ou appuyer). De plus, certains travaux ont démontré que les actions influencent la perception (voir Witt, 2011 pour une revue de questions des différents travaux), suggérant une modulation de la

perception en fonction des actions réalisées (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). Si tel est le cas un même objet devrait être différemment perçu en fonction de la condition d'entraînement précédente. Notons que l'interprétation des choix selon qu'ils résultent d'une influence de l'entraînement (i.e. plus de choix d'objets compatibles avec un entraînement) ou d'une modulation de la perception des objets (i.e. des objets d'un certains type différemment perçus en fonction de l'entraînement) permet d'appréhender une influence de l'entraînement en termes d'amorçage par le geste ou d'affordances perçues.

Afin d'inscrire nos recherches dans une démarche développementale, nous avons étudié l'impact différencié de l'entraînement sur les choix catégoriels des enfants de 3 groupes d'âges différents : des enfants de 5 ans, scolarisés en grande section de maternelle ; des enfants de 7 ans, scolarisés en classe de CE1 ; des enfants de 9 ans, scolarisés en classe de CM1. En effet, l'influence de l'action sur les conduites catégorielles a été démontrée chez les jeunes enfants (L. B. Smith, 2005a), mais aucun résultats ne permet d'avancer qu'une stratégie catégorielle est effective tout au long du développement. Or si certains modèles supposent une influence précoce de l'action (e.g., Nelson, 1973), l'hypothèse incarnée suggère que cette influence reste constante au cours du développement puisque les actions font partie intégrante du processus de simulation des épisodes antérieurs. Par ailleurs, certains travaux ont montré que les processus catégoriels sont sensibles à l'amorçage par l'action dès 7 ans (Kalenine, Bonthoux et al., 2009), et par l'utilisation dès 5 ans (Mounoud et al., 2007). Enfin, les simulations sensori-motrices semblent effectives dès 7 ans (Ambrosi et al., 2011). Utiliser dans toutes les études trois groupes d'âge différents, nous permet d'inscrire les résultats observés dans une perspective développementale, en accord avec les travaux antérieurs.

Etude 3. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants.

3.1. Objectifs

Cette étude a pour but de tester l'influence de deux entraînements moteurs sur la catégorisation d'objet. Nous cherchons à savoir dans quelle mesure le traitement catégoriel d'objets sur lesquels les enfants n'ont aucune connaissance *a priori* peut être influencé par les actions réalisées au préalable. Deux manipulations sont contrastées : saisir à pleine main ou faire rouler un objet sphérique. Nous faisons l'hypothèse que les informations liées au volume des objets seront prises en compte à partir de l'entraînement « saisir à pleine main » alors que les informations liées à la fonction des objets seront prises en compte à partir de l'entraînement « faire rouler ». Si ces informations permettent de constituer une catégorie des objets manipulés, l'extension de cette catégorie à de nouveaux objets devrait dépendre des manipulations précédentes. En phase test les enfants réalisent une tâche en choix forcé dans laquelle deux images d'objet inconnu sont présentées. Chaque essai comporte un objet incompatible avec l'entraînement et un objet compatible avec un des deux entraînements. La moitié des objets compatibles le sont avec l'entraînement « saisir à pleine main », ce sont des objets de même volume, et l'autre moitié le sont avec l'entraînement « faire rouler », ce sont des objets de même utilisation, que l'on peut faire rouler. Deux hypothèses complémentaires peuvent être formulées. La première concerne une influence directe de l'entraînement sur le type d'objet choisi : la catégorie des objets manipulés devrait inclure plus d'objets de même volume que d'objets de même utilisation après un geste « saisir à pleine main » et plus d'objets de même utilisation que d'objets de même volume après un geste « faire rouler ». La seconde concerne une modulation des objets perçus en fonction des actions réalisées au préalable : les objets de même volume devraient être plus souvent choisis après un entraînement « saisir à pleine main » qu'après un entraînement « faire rouler » ; au

contraire les objets de même utilisation devraient être plus souvent choisis après un entraînement « faire rouler » qu'après un entraînement « saisir à pleine main ». Ces deux hypothèses reposent donc sur la présence d'un effet d'interaction entre les conditions d'entraînement et le type d'objet choisi.

3.2. Méthode

Participants

Trois groupes d'âge ont participé à cette expérience : 25 enfants de 5 ans (M=5 ans 2 mois, ET= 6 mois), 17 filles et 12 garçons, 33 enfants de 7 ans (M=7 ans 9 mois, ET= 4 mois), 22 filles et 11 garçons, et 35 enfants de 9 ans (M=9 ans 6 mois, ET= 5 mois), 15 filles et 20 garçons.

Quarante-six adultes, étudiants à l'université Pierre Mendès France, ont été recrutés pour le contrôle du matériel.

Design Expérimental

L'expérience se déroule en deux phases successives : une phase d'entraînement et une phase de catégorisation. Les enfants sont répartis aléatoirement dans l'une des deux conditions de manipulation : saisir à pleine main ou faire rouler. Les enfants manipulent d'abord 7 objets sphériques et réalisent ensuite une tâche de catégorisation en choix forcé. Les objets présentés en phase test sont différents de ceux manipulés pendant l'entraînement.

Entraînement sensori-moteur

Cette phase d'entraînement a pour but d'augmenter la saillance de certaines propriétés des objets manipulées : leur volume (par le biais du geste « saisir ») ou leur utilisation (par le biais du geste « faire rouler »).

Matériel

Les enfants manipulent successivement 7 sphères transparentes (diamètre 7 cm) remplies de différents matériaux (farine blanche, lentilles oranges, petits coquillages, cubes de pâte à modeler, perles multicolores en bois, raphia). Ainsi les objets sont

visuellement différents. Dans la condition « saisir », l'objet est placé au centre d'un socle carré (7x7 cm, 3,5 cm de hauteur). Dans la condition « faire rouler » l'objet est placé en bas d'une rampe inclinée à 45° (26 cm de long, 7 cm de large, 3,5 cm de hauteur). Une sphère remplie de farine est utilisée comme objet de démonstration dans les deux conditions.

Procédure

L'expérimentateur montre à l'enfant comment réaliser le geste, puis l'enfant le reproduit 2-3 fois. L'action « saisir à pleine main » consiste à prendre l'objet au creux de la main, à le soulever, puis à le reposer dans le socle. L'action « faire rouler » consiste à pousser l'objet d'un coup du bas de la rampe de manière à ce qu'il descende en roulant. Les participants manipulent 8 fois chacun des 6 objets. A chaque nouvel objet, l'expérimentateur précise qu'il s'agit d'un autre objet qui « appartient à la même famille », « est de la même sorte » que les précédents. Nous souhaitons ainsi favoriser la généralisation des informations dérivées des actions aux différents exemplaires manipulés par l'enfant.

Afin de maintenir l'attention de l'enfant durant toute la tâche, une procédure de go/no go a été utilisée. Une photo (450*450 pixels) de l'objet manipulé apparaît au centre de l'écran (voir Figure 6). Les enfants doivent réaliser l'action lorsque la sphère apparaît sur un fond coloré, et ne rien faire lorsqu'elle apparaît sur un fond gris. Au total, la phase d'entraînement comporte 72 essais : 48 essais go et 24 essais no go.

Tâche de catégorisation

Matériel

Les stimuli sont des images d'objet nouveau, créées avec le logiciel PaintBrush3D, présentées par paires sur un écran d'ordinateur. Quarante-six adultes ont évalué, lors d'un pré-test, la possibilité de réaliser une action (présentée sous forme de vidéo) sur les objets. La moitié des participants a vu un film du geste « saisir à pleine main », l'autre moitié a vu un film du geste « faire rouler ». Ils répondaient sur une échelle allant de 0 (Je ne peux pas du tout réaliser cette action) à 4 (Je peux faire

exactement le même geste). L'analyse de ces données a permis de sélectionner 18 images d'objet : 6 objets de « même volume » perçus comme pouvant être saisis mais ne pouvant pas rouler, 6 objets de « même utilisation » perçus comme pouvant rouler mais pas être saisis et 6 objets « incompatibles » perçus comme ne pouvant ni être saisis, ni rouler (voir Figure 6).



Figure 6 : Exemple d'objets utilisés dans la phase d'entraînement (2 sphères à gauche) et dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : un objet de même volume, un objet de même utilisation et un objet incompatible).

Pour pouvoir multiplier le nombre d'essais sans présenter les mêmes images, les 18 objets ont été habillés avec 24 textures différentes. Finalement, 144 images d'objet de chaque type (i.e., « même volume », « même utilisation », et « incompatibles ») ont été créées. Chaque objet incompatible est apparié avec un objet de même volume et un objet de même utilisation¹, donnant lieu à 288 paires d'objets. Afin d'éviter la répétition des objets incompatibles, deux listes ont été créées. La liste 1 inclus la moitié des objets compatibles (72 objets de même volume et 72 objets de même utilisation) appariés avec les 144 objets incompatibles ; la liste 2 inclus l'autre moitié des objets compatibles (72 objets de même volume et 72 objets de même utilisation) appariés avec les 144 objets incompatibles. Chaque participant ne passe qu'une des 2 listes, la répartition est aléatoire, indépendamment de la condition de manipulation préalable.

Procédure

Après la phase d'entraînement, les enfants prennent place devant un écran d'ordinateur (ordinateur Dell Latitude E5500, écran de 15 pouces). Chaque essai débute par un point de fixation présenté pendant 500 millisecondes (ms). Puis les deux images d'objet (450 x 450 pixels) apparaissent (une à droite de l'écran et une à gauche) et

¹ Notons que lors d'un même essai, les deux objets ont la même texture

restent affichées jusqu'à la réponse de l'enfant. Les enfants doivent choisir le plus rapidement et le plus précisément possible l'image d'objet qui leur paraît être de la « même famille », de la « même sorte » que les objets de manipulation. La réponse est donnée par clavier : les enfants pressent la touche « a » pour choisir l'image de gauche et la touche « b » pour choisir celle de droite. Chaque réponse entraîne le début d'un nouvel essai. La présentation aléatoire des 144 essais de la tâche de catégorisation est assurée grâce au logiciel E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA).

3.3. Résultats

Durant la phase d'entraînement, les enfants ont été répartis entre les deux conditions expérimentales « saisir à pleine main » et « faire rouler ». Néanmoins les groupes ne sont pas égaux. Aussi, de manière à avoir le même nombre d'enfants dans chaque condition de manipulation à chaque âge, les données de 4 enfants (1 enfant de 5 ans, 2 de 7 ans et 1 de 9 ans) ont été supprimées des analyses. Finalement les analyses incluent un ensemble de 92 enfants (28 enfants de 5 ans, 30 enfants de 7 ans et 34 enfants de 9 ans).

La tâche est globalement bien réussie : les enfants choisissent majoritairement les objets compatibles (M=77% à 5 ans ; M=74% à 7 ans ; M= 72% à 9 ans). Les pourcentages moyens de choix en fonction du groupe d'âge, du type d'objet et de la condition de manipulation sont représentés dans la Figure 7.

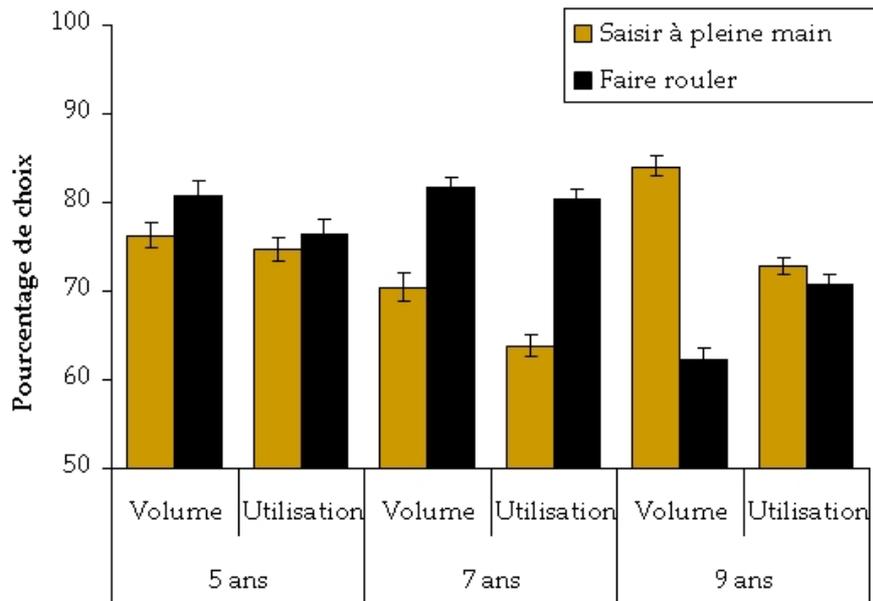


Figure 7 : Pourcentage moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Utilisation et Volume) et de la condition d'entraînement (« Saisir à pleine main » ou « Faire rouler »). Les barres représentent l'erreur standard.

Une ANOVA est réalisée sur les pourcentages moyens de choix avec l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » ou « faire rouler ») comme facteurs inter-sujets et avec le type d'objet choisi (même volume ou même utilisation) comme facteur intra-sujet. Aucun effet principal n'est significatif. Par contre les résultats indiquent une interaction significative entre les facteurs âge et condition d'entraînement [$F(2, 86) = 4.76$; $CMe=565$; $p=.011$] et, conformément à nos prédictions, une interaction entre le type d'objet choisi et la condition d'entraînement [$F(1, 86) = 5.46$; $CMe=117$; $p=.021$]. En outre, l'interaction entre le type d'objet et la condition de manipulation est modulée par l'âge, comme l'indique la double interaction entre le type d'objet choisi, la condition de manipulation et l'âge [$F(2,86)=4.32$; $CMe=117$; $p=.016$]. Les comparaisons planifiées indiquent un effet de la manipulation sur les conduites catégorielles des enfants de 9 ans [$F(1,86) = 14,20$; $CMe=117$; $p<.001$], mais pas sur celles des enfants de 5 ans, ni de 7 ans [$F(1,86) < 1$, aux deux âges].

Chez les enfants de 9 ans, des comparaisons réalisées a posteriori (test de Fischer) confirment nos hypothèses. Saisir les objets à pleine main pousse les enfants de 9 ans à choisir plus d'objets de même volume ($M = 84\%$) que d'objets de même utilisation

(72,8%) [F(1, 86)=9.21 ; CMe=341 p=0.003]. De même, faire rouler les objets conduit les enfants de 9 ans à choisir plus d'objets de même utilisation (M= 70,8%) que d'objets de même volume (62%) [F(1, 86)=5.26; CMe=341 ; p=0.02]. Par ailleurs, les objets de même volume sont plus souvent choisis après un geste de préhension (M= 84%) qu'après un geste de faire rouler (62%) [F(1,86)=10,58 ; CMe=341 ; p=0.002], tandis que les objets de même utilisation sont aussi souvent choisis dans les deux conditions de manipulation précédente [F(1,86<1].

Afin d'appréhender les stratégies de choix, l'analyse de variance est complétée par une analyse qualitative des profils de choix. Pour chaque groupe d'âge les enfants sont répartis en trois profils de réponse : un profil « Volume », un profil « Utilisation » et un profil « non préférentiel ». Les enfants du profil « Volume » ont choisi plus souvent des objets de même volume que de même utilisation ; les enfants du profil « Utilisation » ont choisi plus souvent des objets de même utilisation que de même volume. Les enfants du profil non préférentiel ont choisi soit autant d'objets de même volume que d'objets de même utilisation, soit plus de 50% d'objets incompatibles. Les effectifs dans chaque profil sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7 et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Utilisation), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler).

| | Profil Volume | | Profil Utilisation | | Profil Non Préférentiel | |
|---------------------|---------------|----------|--------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler |
| 5 ans (N=28) | 28,6 (4) | 50,0 (7) | 57,1 (8) | 35,7 (5) | 14,3 (2) | 14,3 (2) |
| 7 ans (N=30) | 60,0 (9) | 46,7 (7) | 26,7 (4) | 26,7 (4) | 13,3 (2) | 26,7 (4) |
| 9 ans (N=34) | 70,6(12) | 23,5 (4) | 23,5 (4) | 52,9 (9) | 5,9 (1) | 23,5 (4) |

Nous nous intéressons particulièrement à la répartition des enfants dans les profils « Volume » et « Utilisation » lorsque ce profil est compatible avec la manipulation précédemment effectuée (voir Figure 8). Le pourcentage d'enfants

présentant un profil de réponse compatible augmente avec l'âge. En particulier à partir de 7 ans, plus de 50% des enfants adoptent un profil Volume après avoir expérimenté les propriétés volumétriques (par le biais du geste de préhension). Au contraire, seuls les enfants de 9 ans adoptent majoritairement un profil Utilisation après avoir expérimenté les propriétés fonctionnelles (par le biais du geste faire rouler). Ceci suggère que les informations liées à la similarité de volume des objets sont plus précocement prises en compte que les informations fonctionnelles. De plus, l'adoption d'un profil Volume après un geste de saisir à pleine main semble se faire graduellement entre 5 et 9 ans alors que l'adoption d'un profil Utilisation après un geste de faire rouler décroît entre 5 et 7 ans et augmente entre 7 et 9 ans.

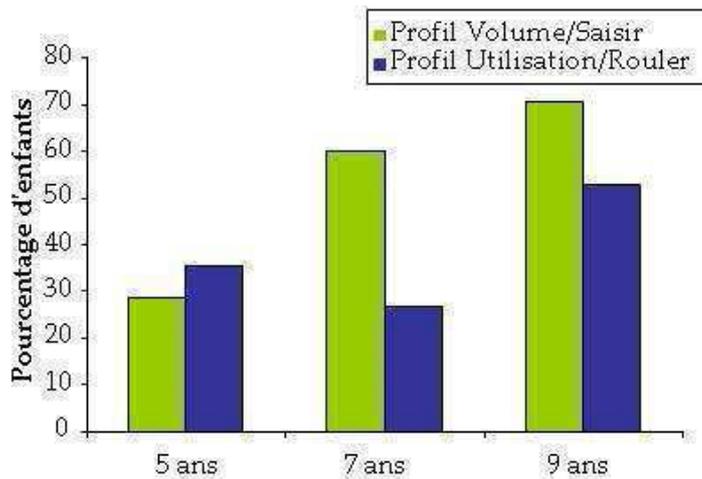


Figure 8: Répartition (%) des enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix compatible avec l'entraînement réalisé : un profil volume après un entraînement Saisir à pleine main (Profil Volume/Saisir) ou un profil utilisation après l'entraînement Faire Rouler (Profil Utilisation/Rouler).

3.4. Discussion

Cette étude avait pour but de tester l'influence de la manipulation (saisir à pleine main *vs.* faire rouler) sur les conduites catégorielles des enfants de 5, 7 et 9 ans face à des objets nouveaux, inconnus. Le geste de saisir à pleine main devait orienter les choix catégoriels des enfants vers les objets de même volume alors que le geste de faire rouler devait orienter les choix catégoriels des enfants vers les objets de même utilisation.

L'analyse des choix catégoriels en fonction de la condition de manipulation conforte nos hypothèses pour les enfants de 9 ans uniquement. Ces caractéristiques sont ensuite utilisées pour attribuer de nouveaux objets à la catégorie des objets manipulés. De plus, l'analyse qualitative des stratégies de catégorisation suggère une détection systématique des propriétés expérimentées dès 7 ans après un entraînement « saisir à pleine main » et à 9 ans après un entraînement « faire rouler ». Ce résultat suggère que la répétition d'une action (« saisir à pleine main » et « faire rouler ») au cours de l'entraînement spécifie la prise en compte de certaines caractéristiques des objets. Comme la répartition en profil de choix varie également en fonction de la condition d'entraînement, cette spécification pourrait refléter la mise en place d'une stratégie de détection des caractéristiques compatibles avec la manipulation réalisée au préalable.

L'influence du geste de saisir à pleine main s'ajoute de nombreux résultats comportementaux (e.g., Borghi et al., 2007; Tucker & Ellis, 2004) et en neuro-imagerie (e.g., Grèzes & Decety, 2002; Grèzes et al., 2003) obtenus chez les adultes, qui suggèrent que les informations relatives à la préhension des objets sont constitutives des concepts d'objet. A 9 ans, la prise en compte de ces propriétés est accentuée par la réalisation au préalable d'un geste de préhension compatible avec ces informations. L'influence spécifique de l'entraînement faire rouler sur la prise en compte de propriétés d'utilisation correspondantes est un résultat relativement novateur. En effet, les études réalisées chez l'adulte et rapportant un effet des caractéristiques liées à l'utilisation ou à la fonction des objets (e.g. Bub et al., 2008; Jax & Buxbaum, 2010; Pellicano et al., 2010) regroupent plusieurs actions et n'étudient pas spécifiquement l'influence d'une de ces actions.

Si l'on considère que les caractéristiques expérimentées lors de la phase de manipulation sont réactivées lors de la tâche catégorielle, les résultats obtenus sont en faveur d'une perspective incarnée des concepts chez l'enfant (e.g., Ambrosi et al., 2011). Selon les théories de la cognition incarnée (Barsalou et al., 2007), le lien entre connaissances conceptuelles et actions réalisées au préalable tel qu'observé chez les adultes (Kiefer et al., 2007; Weisberg et al., 2007) et les très jeunes enfants (L. B. Smith,

2005a), devraient s'observer tout au long du développement. Cependant, dans notre expérience seuls les enfants les plus âgés semblent s'appuyer sur les indices expérimentés par le biais de la manipulation pour catégoriser les objets. En d'autres termes, les enfants de 5 et 7 ans présentent des difficultés à transposer les expériences sensorielles et motrices à de nouveaux objets. Cette difficulté pourrait être inhérente au développement moteur des enfants, la tâche de manipulation pouvant être plus difficile à planifiée pour les enfants les plus jeunes (Thibaut & Toussaint, 2010). De plus, la généralisation à 2 ans ½ du nom à des objets de formes différentes (plus hauts ou plus longs) en fonction des actions qu'ils ont précédemment effectuées (déplacement vertical *vs.* déplacement horizontal) (L. B. Smith, 2005a) pourrait correspondre à un renforcement par l'action de la prise en compte de propriétés visuelles des objets, en particulier les propriétés liées à la forme des objets. Ici, catégoriser les objets en fonction de leur préhension potentielle ou de leur roulement potentiel pourrait correspondre à des caractéristiques inhabituelles, à la différence de la forme (e.g., L. B. Smith et al., 1996). Néanmoins, le fort pourcentage de choix d'objets de même volume ou d'objets de même utilisation, suggère que les enfants sont capables de détecter, dans chaque essai, qu'un des objets est plus similaire aux objets manipulés que l'autre. La difficulté des jeunes enfants pourrait donc venir d'une difficulté à utiliser la situation de manipulation comme référence catégorielle. Il est possible que dans notre étude, la situation d'entraînement ne constitue pas une source d'expérience suffisante pour que les enfants de 5 et 7 ans extraient des similarités à partir des actions. On peut également avancer que les stimuli perçus évoquent des actions ne correspondant pas à la simulation des informations motrices induite par la recherche d'appartenance catégorielle. Cependant, la difficulté des plus jeunes enfants pourrait aussi être imputable au fait d'utiliser des stimuli non connus des enfants. L'étude 4 permet d'envisager cette explication en étudiant l'influence de l'entraînement sur la catégorisation d'objets connus et familiers.

Les résultats de cette expérience soulignent l'importance de la correspondance entre action et catégorisation, puisque à 9 ans les choix catégoriels diffèrent en fonction de la manipulation précédente. Selon certains auteurs, cette correspondance refléterait

une influence des actions réalisées sur la perception ultérieure des images d'objet (e.g., Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). Si la correspondance préhension/détection de la similarité de volume s'accompagne d'une supériorité des choix d'objets de même volume après un entraînement « saisir à pleine main » (*vs.* après un entraînement « faire rouler »), celle faire rouler/ détection de la similarité d'utilisation ne s'accompagne pas d'une supériorité des choix d'objets de même fonction après un entraînement « faire rouler » (*vs.* après un entraînement « saisir à pleine main »). Autrement dit, l'effet de correspondance diffère en fonction du type d'objet proposé dans la phase de catégorisation. Les objets de même volume sont plus souvent choisis après un entraînement « saisir à pleine main » qu'après un entraînement « faire rouler » (et moins après un entraînement « faire rouler » que ne le sont les objets de même utilisation). Les objets de même utilisation sont autant choisis après un entraînement « faire rouler » qu'après un entraînement « saisir à pleine main » (mais néanmoins moins après un entraînement « saisir à pleine main » que ne le sont les objets de même volume). Ainsi la saillance de la similarité de volume est accentuée par un entraînement « saisir à pleine main » et un entraînement « faire rouler » alors que la saillance de la similarité d'utilisation est accentuée par un entraînement « faire rouler » uniquement². Ainsi l'entraînement « faire rouler » permettrait à l'enfant d'appréhender à la fois la similarité fonctionnelle et la similarité de volume.

Autrement dit, la similarité de volume semble être prise en compte quel que soit l'entraînement. Cela pourrait être lié à la perception visuelle du volume des objets manipulés. Cette information visuelle pourrait faciliter la prise en compte du volume après un entraînement « saisir à pleine main », mais rendre plus difficile la prise en compte spécifique de l'utilisation après un entraînement « faire rouler ». L'hypothèse d'une influence particulière des informations visuelles sera abordée dans l'Étude 5.

² Cette proposition peut expliquer, a posteriori, le fait que, l'entraînement « faire rouler » entraîne de meilleures performances que l'entraînement « saisir », chez les enfants de 5 et 7 ans.

Etude 4. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation d'objets manipulables et familiers.

4.1. Objectifs

L'étude 3 nous a permis de montrer qu'un court entraînement moteur permettait aux enfants de 9 ans de prendre en compte des propriétés relatives à l'exécution d'une action, induisant la prise en compte de la similarité de volume ou d'utilisation pour définir l'appartenance catégorielle de nouveaux objets. Certaines recherches ont montré que les informations motrices, en particulier celles liées à la préhension des objets étaient automatiquement activées lors de la catégorisation d'objets de la vie quotidienne, chez les enfants et les adultes (e.g., Borghi & Riggio, 2009). Cependant, lorsque l'on catégorise des objets de la vie quotidienne, la similarité entre les exemplaires porte sur toutes sortes de propriétés (e.g., la forme globale, la couleur, la localisation des objets etc...), et pas uniquement des propriétés liées à leur saisie ou à leur utilisation. Le but principal de l'étude 4 est de tester dans quelle mesure les résultats de l'étude 3 peuvent être généralisés à la catégorisation d'objets réels, connus des enfants.

Comme dans l'étude 3, nous faisons l'hypothèse que les informations liées au volume des objets seront prises en compte à partir du geste « saisir à pleine main » alors que les informations liées à l'utilisation des objets seront prises en compte à partir du geste « faire rouler ». L'extension de cette catégorie à de nouveaux objets réels, devrait dépendre de l'entraînement précédent. Lors du test catégoriel, les objets de même volume devraient être inclus dans la catégorie des objets manipulés après un geste « saisir à pleine main » alors que des objets pouvant rouler devraient être inclus dans la catégorie des objets manipulés après un geste de « faire rouler ».

Cependant, il nous semble d'ores et déjà que les deux manipulations ne sont pas équivalentes en ce qui concerne les objets de la vie quotidienne. En effet, la saisie des objets est un geste relativement commun et fréquent sur les objets manipulables dont la réalisation est peu spécifique. Au contraire, l'utilisation reste spécifique à certains

objets et implique généralement une spécificité d'exécution. En d'autres termes, si la saisie d'un bol, d'une poupée, ou d'une brique de jus de fruit peut impliquer la même réalisation motrice que celle impliquée lors de la saisie des sphères dans l'entraînement saisir à pleine main, l'utilisation d'un rouleau à pâtisserie, d'un chariot, ou d'un rouleau de peinture implique des réalisations motrices différentes de celles impliquées lors de l'utilisation des sphères dans l'entraînement faire rouler. En effet, chez les enfants, la seule étude à notre connaissance ayant permis de mettre en évidence l'activation de propriétés d'utilisation lors d'une activité conceptuelle, présente en amorces des vidéos mimant l'utilisation spécifique des objets (Mounoud et al., 2007). Chez les adultes, les effets d'amorçage par la manipulation commune des objets concernent également l'utilisation spécifique des objets (e.g., Myung et al., 2006).

Ainsi, si l'entraînement faire rouler induit des choix majoritaires d'objets pouvant rouler, ce ne sera probablement pas imputable à la réactivation précise des gestes réalisés au cours de l'entraînement, mais plutôt à l'activation des informations relatives au fait que ces objets puissent rouler. Un tel effet témoignerait donc de la prise en compte, lors de l'entraînement, de la possibilité de faire rouler les objets, les choix ultérieurs des enfants étant dirigés vers la détection non pas d'une similarité d'utilisation mais de la similarité de propriétés consécutives à leur utilisation. D'un point de vue théorique, ces informations consécutives à l'utilisation spécifique des objets (e.g., le rouleau à pâtisserie roule parce que je fais une tarte, le chariot parce que je le pousse, le rouleau de peinture parce que je peins) refléterait la prise en compte de propriétés plus abstraites pouvant être évoquées par l'utilisation réelle des objets (e.g., Jax & Buxbaum, 2010). Pour ces auteurs, l'utilisation des objets favorisent l'activation des propriétés fonctionnelles mais implique également la prise en compte des propriétés structurales des objets (voir également, Binkofski & Buxbaum, 2012; ou Borghi & Riggio, 2009 pour des points de vue similaires). Chez les bébés également, certains auteurs argumentent que la prise en compte des propriétés est consécutive à la perception de la corrélation entre forme et fonction d'un même objet (e.g., Oakes & Madole, 2008).

Enfin, ce qui concerne l'influence de l'entraînement faire rouler, les choix majoritaires des enfants devraient nous renseigner sur la possibilité de prendre en compte des propriétés plus abstraites que la simple possibilité d'exécuter ce geste (choix majoritaires des objets de même utilisation), ou la possibilité de prendre en compte des informations relatives à la forme globale des objets (choix majoritaires des objets de même volume). En ce qui concerne l'influence de l'entraînement saisir, nous ne pouvons pas faire de telles hypothèses, nous souhaitons simplement déterminer si les enfants se basent sur l'entraînement effectué pour catégoriser des objets de la vie quotidienne pour lesquels ils disposent déjà d'un grand nombre de connaissances.

4.2. Méthode

Participants

Trois groupes d'âge ont participé à cette expérience : 35 enfants de 5 ans (M=5 ans 8 mois, ET= 3,4 mois), 16 filles et 19 garçons, 31 enfants de 7 ans (M=7 ans 9 mois, ET= 5 mois), 12 filles et 19 garçons, 37 enfants de 9 ans (M=9 ans 7 mois, ET= 5,5 mois), 15 filles et 22 garçons.

Design Expérimental

Comme dans l'étude 3, les expériences se déroulent en deux phases successives : une phase d'entraînement et une phase de catégorisation. Les enfants manipulent d'abord 8 objets sphériques et réalisent ensuite une tâche en choix forcé. Les objets présentés en phase test sont des images d'objet familier, différent des objets manipulés pendant l'entraînement.

Entraînement sensori-moteur

Cette phase d'entraînement, ayant pour but d'augmenter la saillance de certaines propriétés des objets manipulés, utilise exactement la même procédure et le même matériel que l'étude 3.

Tâche de catégorisation

Matériel

Des photographies en noir et blanc d'objets de la vie quotidienne sont présentées par paire. Les images sélectionnées représentent des objets nommés et identifiés par au moins 80% des enfants de 5 ans selon les normes françaises (http://web.upmf-grenoble.fr/Banque_images/). Trois types d'objet ont été sélectionnés (voir Figure 9) : a) 18 objets pouvant être saisis comme dans la condition d'entraînement « saisir à pleine main » mais sans caractéristique d'utilisation particulière (i.e. objets de « même volume » ne pouvant pas rouler), b) 18 objets pouvant rouler comme dans la condition d'entraînement « faire rouler » mais présentant des volumes différents (i.e. objets de « même utilisation »), et c) 18 objets incompatibles, ne pouvant ni être saisis comme dans la condition d'entraînement « saisir à pleine main » ni rouler comme dans la condition d'entraînement « faire rouler ». Afin de s'assurer que les images d'objet présentent bien les caractéristiques attendues, les enfants ont évalué la possibilité d'effectuer sur ces objets, le geste réalisé durant l'entraînement. Cette évaluation a eu lieu juste après la phase de test. Les enfants du groupe « saisir à pleine main » considèrent ce geste comme pouvant être réalisé sur les objets de même volume plus souvent que sur les objets de même utilisation [$F(1 ; 45) = 6.22, p = .016, MSE = 3.84$]. De même, les enfants du groupe « faire rouler » considèrent ce geste comme pouvant être réalisé sur les objets de même utilisation plus souvent que sur les objets de même volume [$F(1 ; 45) = 18.46, p < .001, MSE = 3.84$]. Les essais ont été construits en appariant un objet compatible (soit de même volume soit de même utilisation) avec un objet incompatible. Dans un essai, les deux objets appartiennent au même schéma spatio-temporel (i.e. les objets du jardin, de la cuisine). Chaque objet incompatible est apparié avec un objet de même volume et un objet de même utilisation. Afin d'éviter la répétition des images d'objet incompatible, les objets incompatibles sont présentés une fois orientés à droite, une fois orientés à gauche. La position respective des images sur l'écran est contrebalancée entre les participants. L'expérience comporte 36 essais, 18 essais présentant une image d'objet compatible « saisir » apparié avec un objet

incompatible, 18 essais présentant une image d'objet compatible « faire rouler » apparié avec un objet incompatible.



Figure 9. Images utilisées dans la phase d'entraînement (la sphère à gauche) et dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : la sphère utilisée comme point de fixation, un objet de même volume, un objet de même utilisation, et un objet incompatible).

Procédure

Après la phase d'entraînement, les enfants prennent place devant un écran d'ordinateur (ordinateur Dell Latitude E5500, écran de 15 pouces). Chaque essai débute par un point de fixation (photographie d'un objet manipulé, voir figure 9) présenté pendant 500 millisecondes (ms). Puis les deux images d'objet (450 x 450 pixels) apparaissent (une à droite de l'écran et une à gauche) et restent affichées jusqu'à la réponse de l'enfant. Les enfants doivent choisir le plus rapidement et le plus précisément possible l'image de l'objet leur paraissant de la « même famille », de la « même sorte » que les objets de manipulation. La réponse est donnée par clavier : les enfants pressent la touche « a » pour choisir l'image de gauche et la touche « b » pour choisir celle de droite. Chaque réponse entraîne le début d'un nouvel essai ; l'expérience comporte 36 essais, présentés aléatoirement grâce au logiciel E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA).

4.3. Résultats

Durant la phase d'entraînement, les enfants ont été répartis entre les deux conditions expérimentales « saisir à pleine main » et « faire rouler ». Néanmoins les groupes ne sont pas égaux. De manière à avoir le même nombre d'enfants dans chaque condition de manipulation, les données de 5 enfants (3 de 5 ans, 1 de 7 ans et 1 de 9

ans) ont été supprimées des analyses. Finalement les analyses incluent un groupe de 98 enfants (32 enfants de 5 ans, 30 enfants de 7 ans et 36 enfants de 9 ans).

La tâche est globalement bien réussie : les enfants choisissent majoritairement les objets compatibles (M=64% à 5 ans ; M=73% à 7 ans ; M= 72% à 9 ans). Les pourcentages moyens de choix en fonction du groupe d'âge, du type d'objet et de la condition de manipulation sont présentés dans la Figure 10.

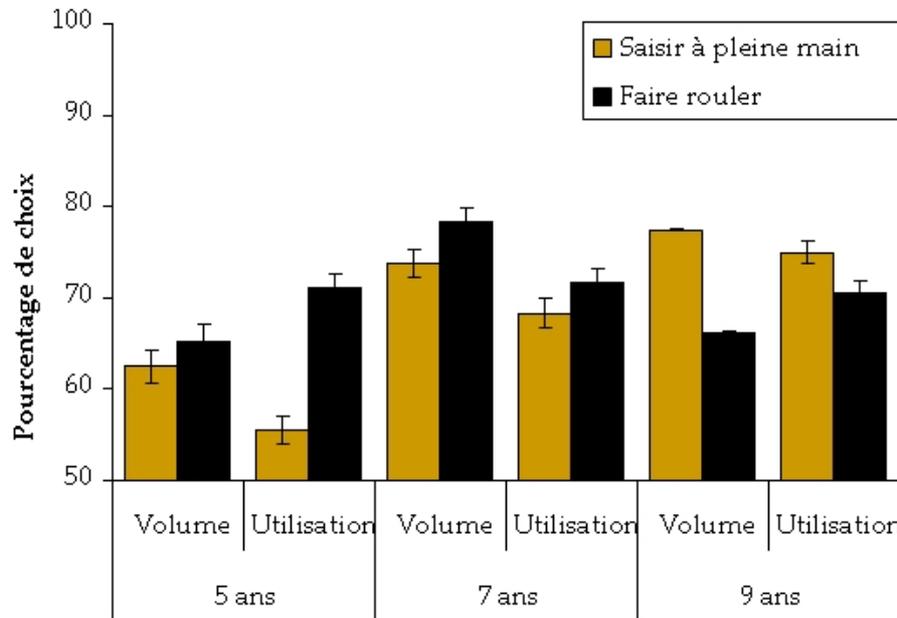


Figure 10 : Pourcentages moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Volume et Utilisation) et de la condition d'entraînement (Saisir à pleine main et Faire rouler). Les barres représentent l'erreur standard.

Une ANOVA est réalisée sur les pourcentages moyens de choix avec l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » *vs.* « faire rouler ») comme facteurs inter-sujets et le type d'objet choisi (même volume *vs.* même utilisation) comme facteur intra-sujet. Seule l'interaction entre le type d'objet choisi et la condition d'entraînement est significative [$F(1; 92)=4.13; p=.045$]. Cette interaction indique qu'un entraînement « saisir à pleine main » oriente les enfants à choisir plus souvent des objets de même volume (M= 71,1%) que des objets de même utilisation (M=66,2%)[$F(1, 92)=6.18; p=0.015$]. Ceci suggère que saisir des objets module la perception des objets à catégoriser : la similarité de volume serait prise en compte par les enfants après la réalisation d'un entraînement rendant saillant le volume des objets.

Après un entraînement faire rouler, les enfants choisissent autant d'objets de même volume (M= 70,3%) que d'objets de même utilisation (M=71, 1%).

Bien que l'analyse de variance ne permette pas de mettre en évidence une influence de l'entraînement sur les conduites catégorielles des enfants de 7 et 9 ans, il nous semble intéressant d'analyser qualitativement les stratégies de réponse des enfants. Comme dans l'étude 3, les enfants de chaque groupe d'âge ont été répartis en trois profils de réponse : un profil « Volume », un profil « Utilisation » et un profil « Non Préférentiel ». Le Tableau 4 présente la répartition des enfants dans chaque profil en fonction de la condition d'entraînement.

Tableau 4 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Fonction), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler).

| | Profil Volume | | Profil Utilisation | | Profil Non Préférentiel | |
|---------------------|---------------|----------|--------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler |
| 5 ans (N=32) | 25 (4) | 6,25 (1) | 0 (0) | 18,75 (3) | 75 (12) | 75 (12) |
| 7 ans (N=30) | 40 (6) | 46,7 (7) | 6,7 (1) | 6,7 (1) | 53,3 (8) | 46,7 (7) |
| 9 ans (N=36) | 61,1 (11) | 22,2 (4) | 16,7 (3) | 22,2 (4) | 22,2 (4) | 55,6 (10) |

Comme le montre le Tableau 4, la majorité des enfants présente un profil de choix non préférentiel (M=55%), indiquant que peu d'enfants optent pour une stratégie de détection d'une propriété en particulier. Malgré tout, certains enfants présentent un profil de choix compatible avec l'entraînement (voir Figure 11). Les enfants de 5 et 9 adoptent plus un profil Volume qu'un profil Utilisation après un entraînement « saisir à pleine main », et plus un profil Utilisation qu'un profil Volume après un entraînement « Faire rouler ». De plus, l'adoption d'un profil Volume après un geste de saisir à pleine main semble se faire graduellement entre 5 et 9 ans (courbe linéaire) alors que l'adoption d'un profil Utilisation après un geste de faire rouler décroît entre 5 et 7 ans et augmente entre 7 et 9 ans (courbe en U).

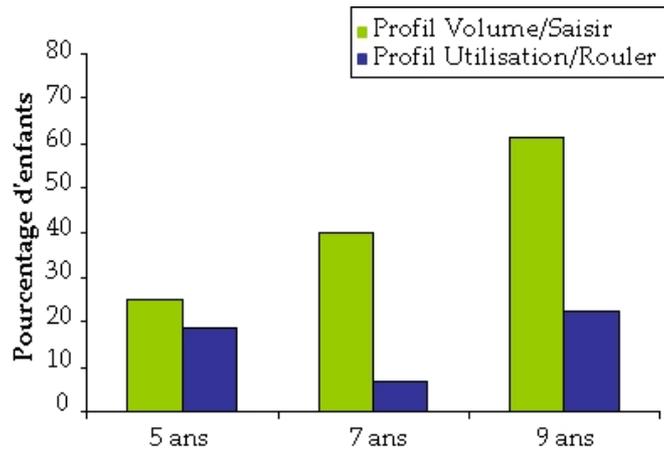


Figure 11 : Répartition (%) des enfants de 5, 7, et 9 ans présentant un profil de choix compatible avec l'entraînement réalisé : un profil volume après un entraînement saisir à pleine main (Profil Volume/Saisir), ou un profil utilisation après l'entraînement Faire Rouler (Profil Utilisation/Rouler).

4.4. Discussion

Les résultats de cette étude montrent clairement que les enfants dès 5 ans utilisent les propriétés volumétriques expérimentées lors de la saisie des objets pour catégoriser des objets familiers et manipulables. Ce résultat vient corroborer ceux des études réalisées chez l'adulte indiquant que les propriétés volumétriques sont intrinsèquement liées à l'exécution préalable ou la possibilité d'exécuter un geste de saisie (e.g., Bub et al., 2008; Tucker & Ellis, 2001). De plus, les gestes de saisie semblent automatiquement activés lorsque les enfants de 7 ans catégorisent des objets de la vie quotidienne (Kalenine et al., 2009). Cette étude permet de montrer que la prise en compte des informations volumétriques est favorisée par un court entraînement à saisir des objets, et ce dès 5 ans. La correspondance entre informations volumétriques évoquées par les images et réalisation de l'action de préhension permet aux jeunes enfants de considérer des objets très différents les uns des autres (par exemple, un bol, une poupée, une brique de jus de fruit) comme équivalents à la sphère manipulés pendant l'entraînement.

L'influence du geste faire rouler sur la catégorisation des objets connus n'est pas claire : les analyses ne permettent pas de montrer une prise en compte de la similarité d'utilisation relative à l'entraînement faire rouler. Les enfants choisissent autant

d'objets de même volume que d'objets de même utilisation, mais très peu d'objets incompatibles (30%, en moyenne). Comme suggéré dans les objectifs, le fait que les enfants incluent les objets présentant une similarité d'utilisation et une similarité de volume pourrait être liée au fait que lors de l'entraînement, l'utilisation des objets implique la prise en compte des informations d'utilisation mais également la prise en compte des propriétés structurales/volumétriques des objets (voir également, Binkofski & Buxbaum, 2012; ou Borghi & Riggio, 2009 pour des points de vue similaires).

La prise en compte des informations volumétriques pourrait refléter la correspondance entre les caractéristiques expérimentées et les caractéristiques évoquées par les objets en test (i.e., affordances) (Schulz, Standing, & Bonawitz, 2008). Ces affordances à la préhension, automatiquement activées indépendamment de l'entraînement seraient similaires à celle expérimentées lors l'entraînement « saisir à pleine main » mais s'ajouteraient à celle expérimentées lors de l'entraînement « faire rouler ». Ainsi, l'entraînement saisir permettrait aux enfants d'opter pour une stratégie de détection des indices volumétriques, rendant évidente la similarité de volume lors du test. Au contraire, l'entraînement faire rouler ne leur permettraient pas d'opter pour une stratégie de détection de certains indices en particulier.

Dans les deux études, l'analyse qualitative des profils de choix en fonction de la condition d'entraînement illustre la différence entre prise en compte de la similarité de volume par le biais de la saisie à pleine main et à celle de la similarité d'utilisation par le biais du geste de faire rouler. La courbe croissante illustrant l'adoption, entre 5 et 9 ans, d'un profil Volume après l'entraînement « saisir à pleine main » semble refléter une acquisition graduelle avec l'âge. La courbe en U illustrant l'adoption, entre 5 et 9 ans, d'un profil Utilisation après l'entraînement « faire rouler » semble refléter un processus en cours d'acquisition (voir, Siegler, 2004) pouvant témoigner du réagencement entre nouveaux et anciens apprentissages (e.g., Gershkoff-Stowe & Thelen, 2004). D'un point de vue développemental, le traitement spécifique de la similarité d'utilisation après un entraînement « faire rouler » semble être plus difficilement acquis que celui de la similarité de volume après un entraînement « saisir à pleine main ». La difficulté de traitement de la similarité d'utilisation pourrait refléter

une difficulté à organiser les informations volumétriques prises en compte par le biais d'affordances et les informations d'utilisation après un entraînement faire rouler.

L'hypothèse d'affordance à la préhension permet d'expliquer la plus grande propension des enfants à effectuer des regroupements sur la base de la similarité de volume. Cependant nous devons considérer que cette influence pourrait être relative à la perception visuelle d'objets de même forme dans la phase d'entraînement. Dans ce cas, et comme nous le suggérons dans la discussion de l'étude 3, l'avantage des propriétés volumétriques après un entraînement saisir pourrait également être dû à leur prise en compte de manière redondante au cours de l'entraînement. En effet, voir une sphère d'un certain volume et la saisir en même temps pourrait augmenter la saillance de la similarité de volume entre les exemplaires manipulés et la pertinence de cette information lors du choix des objets, sans pour autant suggérer une influence des affordances perçues. En d'autre terme, les choix d'objet de même volume pourraient être simplement liés à une stratégie de catégorisation sur la base de la similarité visuelle, dont on sait qu'elle est opérationnelle chez les nouveau-nés (Quinn, 2000).

Etude 5. L'influence, en l'absence d'informations visuelles, des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants

5.1. Objectifs

Les résultats des études 3 et 4 nous ont amené à faire l'hypothèse d'une influence différenciée de l'entraînement « saisir à pleine main » et de l'entraînement « faire rouler ». En particulier, l'entraînement « saisir à pleine main » semble permettre la prise en compte des informations relatives à la similarité de volume. La similarité de volume est ensuite utilisée comme critère de catégorisation pour les objets familiers à 5 ans et les objets inconnus à 9 ans. De plus, l'utilisation de ces informations volumétriques après un geste de saisie semble correspondre à une stratégie de catégorisation qui s'amplifie graduellement avec l'âge. Si, de nombreux résultats chez l'adulte, laissent envisager un traitement plus coûteux des informations fonctionnelles et, symétriquement, un traitement plus automatique et rapide des informations volumétriques, nos données pourraient témoigner d'un fort impact des informations volumétriques lors de l'entraînement. En effet, les informations relatives au volume des objets sont disponibles visuellement tout au long de l'entraînement puisque la taille des sphères est invariante dans toutes les conditions de manipulation. Cette disponibilité des informations volumétriques par le biais du canal visuel pourrait expliquer l'influence particulière de l'entraînement « saisir à pleine main » (Etude 3 et 4). De plus, la prise en compte des indices visuels pourrait en quelque sorte parasiter la prise en compte des informations relatives aux gestes d'utilisation, « faire rouler ». Afin de tester seulement l'influence des entraînements moteurs sur la catégorisation des objets, nous avons répliqué l'étude 3 en privant les enfants des informations visuelles lors de l'entraînement.

L'étude 5 propose donc d'évaluer l'influence de l'entraînement moteur en l'absence d'informations visuelles. Si seules les informations motrices (e.g., la taille de la pince pour saisir) permettent aux enfants de prendre en compte le volume des objets,

les enfants de la condition « saisir à pleine main » devraient choisir plus d'objets de même volume que de même utilisation, au moins à 9 ans. En outre, si la discordance entre informations visuelles et motrices vient gêner la prise en compte des propriétés motrices relatives à l'utilisation, supprimer cette discordance devrait faciliter la prise en compte par les jeunes enfants (i.e., avant 9 ans) des propriétés relatives à l'utilisation après un entraînement « faire rouler ». Nous faisons donc l'hypothèse que, lors de l'entraînement, les enfants détecteront des similarités de volume (par le biais du geste « saisir à pleine main ») ou des similarités fonctionnelles (par le biais du geste « faire rouler ») entre les sphères manipulées. En phase test, l'inclusion de nouveaux objets devrait se faire sur la base des similarités expérimentées par le biais de l'action : les objets de même volume/saisie devraient être plus souvent choisis par les enfants du groupe « saisir à pleine main » alors que les objets de même utilisation/pouvant rouler devraient être plus souvent choisis par les enfants du groupe « faire rouler ».

5.2. Méthode

Participants

Trois groupes d'âge ont participé à cette expérience : 40 enfants de 5 ans (M=5 ans 4 mois, ET= (2,4 mois), 20 filles et 20 garçons, 26 enfants de 7 ans (M=7 ans 3 mois, ET= 5 mois), 12 filles et 14 garçons, 37 enfants de 9 ans (M=9 ans 7 mois, ET= 5,5 mois), 16 filles et 14 garçons.

Design Expérimental

Nous avons utilisé le même paradigme que dans l'étude 3. Les expériences se déroulent donc en deux phases successives : une phase d'entraînement et une phase de catégorisation en choix forcé.

Entraînement sensori-moteur

Cette phase d'entraînement a pour but d'augmenter la saillance de certaines propriétés des objets manipulés : leur volume (par le biais du geste « saisir à pleine main ») ou leur utilisation (par le biais du geste « faire rouler »). Afin de tester la seule

influence des informations motrices lors de l'entraînement, celui-ci a été réalisé les yeux bandés.

Matériel

Les enfants manipulent successivement 6 sphères (diamètre 7 cm). Les sphères sont soit remplies de différents matériaux (fil de fer, boule de ping-pong, perles en bois), soit de textures différentes (surface râpée, surface recouverte de sable, ou de bandes plastiques). Ainsi, les objets manipulés se différencient selon leur texture ou leur sonorité. La sphère utilisée pour expliquer les gestes est lisse et ne fait pas de bruit. Les yeux des enfants sont bandés durant tout l'entraînement, un casque étant posé sur leurs oreilles.

Procédure

Les enfants sont répartis en deux conditions d'entraînement : la condition « saisir à pleine main » et la condition « faire rouler ». Afin de maintenir l'attention de l'enfant durant toute la tâche, une procédure de go/no go a été utilisée. Les enfants entendent ici un signal sonore leur signifiant soit de réaliser l'action soit de ne rien faire. Au total, la phase d'entraînement comporte 72 essais : 48 essais go et 24 essais no go.

Tâche de catégorisation

Cette phase de catégorisation est identique à celle utilisée dans l'étude 3. Les enfants réalisent au total 144 essais. La moitié des essais propose un choix entre un objet de même volume, compatible avec l'entraînement « saisir à pleine main » et un objet incompatible et l'autre moitié un choix entre un objet de même utilisation, compatible avec l'entraînement « faire rouler » et un objet incompatible.

5.3. Résultats et Discussion

La répartition des enfants entre les deux conditions de manipulation nous permet d'avoir à chaque âge le même nombre d'enfants ayant réalisé l'entraînement « saisir à pleine main » et « faire rouler ». De manière générale, les performances catégorielles augmentent avec l'âge : les enfants choisissent de plus en plus d'objets compatibles

(M=52,3% à 5 ans¹; M=61,3% à 7 ans ; M= 73,3% à 9 ans). Les pourcentages moyens de choix en fonction du groupe d'âge, du type d'objet et de la condition de manipulation sont présentés Figure 12.

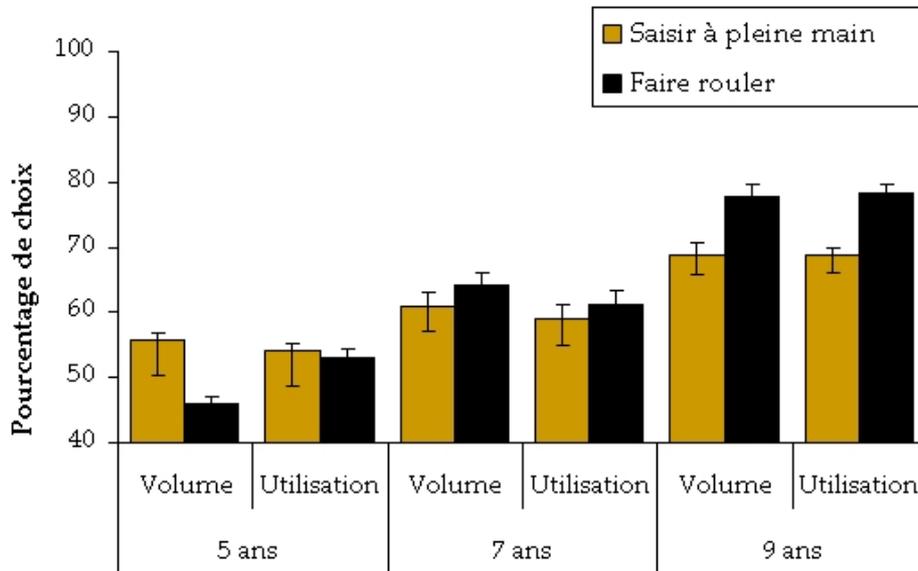


Figure 12 : Pourcentage moyens de choix des enfants de 5, 7, et 9 ans en fonction du type d'objet (Volume et Utilisation) et de la condition d'entraînement (Saisir à pleine main et Faire rouler). Les barres représentent l'erreur standard.

Deux ANOVA ont été effectuées sur les pourcentages moyens de choix, les participants et les items étant alternativement considérés comme facteur aléatoire. Dans l'analyse par participants [F1], l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » ou « faire rouler ») sont manipulés en inter-sujets et le type d'objet choisi (même volume ou même utilisation) est manipulé en intra sujet. Dans l'analyse par items [F2], le type d'objet choisi est manipulé en inter-sujets, l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » ou « faire rouler ») en intra-sujet.

Les résultats indiquent un effet principal de l'âge [F1 (2,90)= 5.80; MCE = 1205; p=.004 et F2 (2,20)= 124.8; MCE = 22,3; p<.0001] : le pourcentage de choix d'objets (même volume ou même utilisation) augmente avec l'âge. Dans l'analyse par

¹ Un test de Student de comparaison de moyenne à un standard (50%) indique que les choix des enfants de 5 ans, contrairement à ceux des enfants de 7 et 9 ans, se font au hasard [$t(1;39)<1$].

participants, cet effet n'est modulé par aucune interaction, suggérant que les enfants réalisent la tâche catégorielle indépendamment de la condition d'entraînement ou du type d'objet proposé en choix. Néanmoins, les résultats de l'analyse par items permettent de nuancer ces conclusions puisque l'effet de l'âge est modulé par la condition d'entraînement [F2 (2,20)= 29,9; MCE = 12,2; p<.0001]. La décomposition de cette interaction indique que les choix d'objets (indépendamment de leur similarité de volume ou d'utilisation) sont plus nombreux après un entraînement « saisir à pleine main » à 5 ans mais plus nombreux après un entraînement « faire rouler » à 9 ans [F2 (2,20)= 60,3; MCE = 8,3; p<.0001]. A 7 ans, les performances sont équivalentes quel que soit l'entraînement [F2 (1,10) < 1; MCE =13,9]. Ces résultats suggèrent que les informations prises en compte lors de la manipulation ne sont pas suffisantes pour favoriser la perception d'affordances concordantes. Cependant, l'analyse des profils de choix pourrait contredire cette conclusion.

Comme dans les études précédentes, les enfants sont répartis en trois profils de réponse : un profil « Volume », un profil « Utilisation » et un profil « Non préférentiel ». La Tableau 5 présente la répartition des enfants dans chaque profil. De manière générale, les enfants se répartissent de manière équivalente entre les trois profils : 36% d'entre eux présentent un profil « Saisir » ; 34% un profil « Utilisation » et 30% présente un profil « Non Préférentiel ». Ce constat est en accord avec l'absence de modulation des choix des enfants par la condition d'entraînement.

Tableau 5 : Pourcentage (et effectif) d'enfants de 5, 7 et 9 ans présentant un profil de choix en faveur des objets de même volume (Profil Volume), de même utilisation (Profil Fonction), ou ne présentant de profil de choix particulier (Profil Non Préférentiel) après avoir réalisé un entraînement saisir à pleine main (Saisir) ou faire rouler (Rouler).

| | Profil Volume | | Profil Utilisation | | Profil Non Préférentiel | |
|---------------------|---------------|----------|--------------------|----------|-------------------------|----------|
| | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler | Saisir | Rouler |
| 5 ans (N=28) | 30 (6) | 20 (4) | 35 (7) | 30 (6) | 35 (7) | 50 (10) |
| 7 ans (N=30) | 40 (6) | 26,7 (4) | 26,7 (4) | 40 (6) | 33,3 (5) | 33,3 (5) |
| 9 ans (N=34) | 46,2 (6) | 53,8 (7) | 38,5 (5) | 30,8 (4) | 15,4 (2) | 15,4 (2) |

Le nombre d'enfants adoptant un profil « Non préférentiel » diminue avec l'âge alors que le nombre d'enfants adoptant un profil « Volume » augmente avec l'âge (25% à 5 ans ; M=33% à 7 ans ; M= 50% à 9 ans) et le pourcentage d'enfants adoptant un profil « Utilisation » reste constant (32,5% à 5 ans ; M=33% à 7 ans ; M= 34,5% à 9 ans). Bien que l'on constate que la stratégie de réponse selon la similarité d'utilisation est utilisée dès 5 ans, les stratégies de réponse semblent plutôt se spécifier au profit d'une stratégie selon la similarité de volume.

Dans cette expérience, nous cherchions à réduire la discordance entre les informations visuelles et motrices dans le cas d'un entraînement « faire rouler » et la concordance entre les informations visuelles et motrices dans le cas d'un entraînement « saisir à pleine main ». Les résultats indiquent que la prise en compte d'informations par les entrées motrices uniquement ne permet pas aux enfants de catégoriser sur la base des propriétés expérimentées par le biais des actions.

Il est néanmoins intéressant de constater que dans cette expérience, l'augmentation des choix corrects (i.e. des objets de même volume ou de même utilisation, indépendamment de l'entraînement) avec l'âge est liée à une augmentation des choix après un entraînement « faire rouler ». Considérons plus précisément les deux conditions d'entraînement : « saisir à pleine main » et « faire rouler ». Lors de l'entraînement en condition classique, la réalisation de ces deux actions est associée à une compilation de différentes informations entre autres visuelles (perception du contour des objets, de la distance, etc.) et motrices (codage de la distance, de la taille de la pince). Il semblerait que le geste de préhension s'appuie majoritairement sur la prise en compte des caractéristiques volumétriques et visuellement perçues des objets (Bub et al., 2008). L'action « faire rouler » est, quant à elle, enchâssée dans une séquence motrice dont le but est clairement démontré : faire rouler l'objet pour qu'il aille heurter le haut de la rampe et redescende alors que la saisie n'a pas de but clairement démontré. Cette asymétrie entre les deux actions serait accentuée par l'entraînement en aveugle et la disparition des informations visuelles. Autrement dit, les enfants seraient peut être plus confiants pour inclure des objets après avoir réalisé un geste fonctionnel

qu'après avoir réalisé un geste de saisie, pouvant expliquer la plus grande proportion de choix d'objets après l'entraînement « faire rouler ».

Notons que réaliser un entraînement en aveugle semble complexifier la tâche de catégorisation. En effet, les enfants de 5 ans répondent au hasard et les choix d'objets incompatibles restent plus importants à 7 ans que dans les études 3 et 4. De plus, l'analyse des profils montre que peu d'enfants utilisent une stratégie catégorielle constante. Ainsi, les informations prises en compte uniquement par les entrées motrices ne paraissent pas déterminer les choix des enfants, suggérant ainsi que les informations visuelles sont particulièrement importantes lors de l'entraînement. Nous pouvons envisager la situation d'entraînement comme une situation d'interaction où les informations prises en compte le sont par le biais du canal visuel ou tout du moins ne le sont pas en leur absence.

Les résultats des études 3 et 4 suggéraient que l'influence de l'entraînement « saisir à pleine main » sur la prise en compte des informations volumétriques proviendrait de la redondance des informations visuelles et motrices. Au contraire, la difficulté de traitement des informations d'utilisation serait liée à la discordance entre informations visuelles et motrices. Les résultats de cette étude montrent que l'influence de l'entraînement sur les conduites catégorielles, telle qu'observée dans les études 3 et 4, ne semble pas provenir de la seule prise en compte d'informations motrices au cours de la manipulation.

Etude 6. L'impact différencié des entraînements « saisir à 2-3 doigts » et « appuyer » sur la catégorisation de nouveaux objets, inconnus des enfants

6.1. Objectifs

L'étude 3 a mis en évidence une influence de la manipulation sur les conduites catégorielles des enfants de 9 ans. Entre autres résultats, l'entraînement « saisir à pleine main » oriente leurs choix catégoriels vers la prise en compte de la similarité de volume et le geste faire rouler oriente leurs choix vers la prise en compte de la similarité d'utilisation. Dans cette étude, nous cherchons tout d'abord à savoir si la similarité de volume et la similarité d'utilisation entre les objets peuvent être détectées par le biais d'entraînements sensori-moteurs différents des précédents (e.g., « saisir à pleine main » et « faire rouler »). En particulier, nous voulons évaluer l'impact d'un geste de saisie entre deux ou trois doigts ou « saisir à 2-3 doigts » sur la prise en compte d'informations liées au volume des objets et l'impact d'un geste d'utilisation « appuyer » sur la prise en compte d'informations liées à l'utilisation des objets. Si comme suggéré précédemment, les résultats de l'étude 3 témoignent de la prise en compte de caractéristiques spécifiques aux manipulations réalisées lors de l'entraînement, l'extension de la catégorie des objets manipulés à de nouveaux objets devrait à nouveau dépendre des manipulations précédentes. Ainsi, lors du test catégoriel, après le geste « saisir à 2-3 doigts », des objets pouvant être saisis de la même manière devraient être inclus dans la catégorie des objets manipulés auparavant alors qu'après le geste « appuyer », des objets appuyables devraient être inclus dans la catégorie des objets manipulés auparavant.

Cependant, les performances observées dans l'étude 3 et celle de l'étude 4 pourraient refléter la perception automatique de la possibilité d'effectuer le geste. En d'autres termes, les performances pourraient être liées à la perception d'affordances perçues lors de l'entraînement et particulièrement amorcées par l'entraînement « saisir à pleine main ». L'objectif de l'étude 6 est de tester plus directement cette hypothèse d'affordances perçues.

Nous avons donc choisi de maximiser la possibilité de percevoir des affordances tout en diminuant la possibilité de se baser sur la similarité intra-catégorielle des objets manipulés durant l'entraînement. Ainsi, les objets présentés dans la phase test ne sont plus des objets choisis en fonction de leur similarité de volume ou d'utilisation mais des objets ayant été jugés comme pouvant être manipulés de la même manière (i.e. des objets « affordant » les manipulations mais ne possédant pas de caractéristiques extrinsèques particulières). Par ailleurs, considérant qu'augmenter la variabilité entre les objets présentés dans la phase test (i.e., diminuer la similarité intra-catégorielle des objets de test) diminuera la saillance de la relation action-volume ou action-utilisation, nous avons utilisé en test des objets beaucoup plus variés. De plus, les actions de manipulation de la phase d'entraînement ne sont plus dirigées vers l'objet dans son ensemble mais vers une partie de l'objet. Cette expérience permet de limiter la possibilité des enfants de créer une trace de la catégorie des objets manipulés contenant un lien invariant saisir-volume ou appuyer-utilisation portée par des objets ayant tous la même forme, comme c'était le cas dans les entraînements précédents.

Binfoski & Buxbaum (2012) suggèrent que les processus catégoriels relatifs à la prise en compte du volume par le geste de préhension reflètent à la fois la perception d'affordances et des processus sémantiques alors que les processus catégoriels relatifs à la prise en compte de l'utilisation par des actions fonctionnelles reflètent uniquement des processus sémantiques. Ces informations de nature sémantique pourraient être liées au fait de percevoir le but des actions fonctionnelles (e.g., Fischer et al., 2008; Masson, Bub, & Warren, 2008). Cette suggestion a motivé le choix du geste d'appui qui est un geste fonctionnel de la vie quotidienne (e.g. appuyer sur un klaxon, un interrupteur, un bouton etc.). Nous avons cependant veillé dans l'expérience à ce que ce geste n'entraîne pas de résultats.

6.2. Méthode

Participants

Trois groupes d'âge ont participé à cette expérience : 34 enfants de 5 ans (M=5 ans 6 mois, ET= 3 mois), 14 filles et 20 garçons, 36 enfants de 7 ans (M=7 ans 6 mois,

ET= 3 mois), 15 filles et 23 garçons, 34 enfants de 9 ans (M=9 ans 7 mois, ET= 3 mois), 10 filles et 28 garçons.

Quarante deux adultes, étudiants à l'université Pierre Mendès France, ont été recrutés pour le contrôle du matériel.

Design Expérimental

Les expériences se déroulent en trois phases successives : l'entraînement, une épreuve de catégorisation en choix forcé et une épreuve d'identification de l'appartenance catégorielle. L'ajout de cette seconde épreuve permet d'évaluer la stabilité des jugements catégoriels (Borghi et al., 2007; Borghi et al., 2012; L. B. Smith, 2005a; Tucker & Ellis, 1998). Les enfants sont répartis en deux conditions, soit « saisir pince fine », soit « appuyer ». Les enfants manipulent d'abord 10 objets en polystyrène, réalisent ensuite la tâche en choix forcé, puis la tâche d'identification de l'appartenance catégorielle¹. Les deux phases de test incluent des images d'objet en 3D, similaire aux objets manipulés pendant l'entraînement.

Entraînement sensori-moteur

Cette phase d'entraînement a pour but d'augmenter la saillance de certaines propriétés d'une partie des objets manipulés : leur volume (par le biais de l'entraînement « saisir pince fine ») ou leur fonction (par le biais de l'entraînement « appuyer »).

Matériel

Vingt objets en polystyrène de différentes couleurs (violet, noir, blanc, rouge, saumon marbré) ont été construits pour cette étude. Comme le montre la Figure 13, les objets sont composés d'une base (10 modèles différents) et d'une partie trapézoïdale. La partie trapézoïdale est identique à tous les objets ; ce trapèze d'une hauteur de 2 cm possède deux côtés parallèles mesurant 8 cm et 6 cm, et il dépasse de 3 cm du socle. Tous les objets ont un poids équivalent. La moitié des objets a été conçue pour

¹ Dans l'a tâche d'identification, chaque objet est présenté un par un à l'enfant qui doit indiquer si cet objet lui paraît être un exemplaire de la catégorie des objets manipulés auparavant.

l'entraînement « saisir à 2-3 doigts », la base et la partie étant solidaires. L'autre moitié des objets a été conçue pour l'entraînement « appuyer », la partie pouvant être enfoncée dans la base.



Figure 13 : Photographie des objets de la phase d'entraînement. Tous les objets ont la même partie trapézoïdale mais varient sur la forme globale du socle et la couleur. Selon la condition d'entraînement, les enfants devaient saisir la partie trapézoïdale et soulever l'objet (entraînement « saisir pince fine ») ou appuyer sur la partie trapézoïdale (entraînement « appuyer »).

Procédure

L'expérimentateur montre à l'enfant comment réaliser le geste, puis l'enfant le reproduit 2-3 fois. L'action « saisir à 2-3 doigts » consiste à prendre l'objet par la partie trapézoïdale, à le soulever, puis à le reposer. Dans cette condition, l'écartement entre le pouce et le doigt est de 2 cm, quel que soit l'objet soulevé. L'action « appuyer » consiste à enfoncer la partie trapézoïdale dans l'objet. Les participants manipulent 5 fois chacun des 10 objets. A chaque nouvel objet, l'expérimentateur précise qu'il s'agit d'un autre objet qui « appartient à la même famille », « est de la même sorte » que les précédents. Nous souhaitons ainsi favoriser la généralisation des informations dérivées des actions aux différents exemplaires.

Afin de maintenir l'attention des enfants durant toute la tâche, une procédure de go/no-go a été utilisée. Une photo (450*450 pixels) de l'objet manipulé apparaît au centre de l'écran. Les enfants doivent réaliser l'action lorsque l'objet apparaît sur un fond vert et ne rien faire lorsqu'il apparaît sur un fond rouge. Au total, la phase d'entraînement comporte 80 essais : 50 essais go et 30 essais no-go.

Catégorisation

Matériel

Les stimuli sont des images d'objet nouveau, en 3D, créées avec le logiciel Blender, et présentées par paires sur un écran d'ordinateur. Quarante-deux adultes ont évalué, lors d'un pré-test, la possibilité de réaliser une action sur 256 images. La moitié des participants a préalablement exécuté l'action « saisir à 2-3 doigts » et l'autre moitié l'action « appuyer ». Ils répondaient ensuite, face aux images, sur une échelle allant de 0 (je ne peux pas du tout réaliser cette action) à 5 (je peux faire exactement le même geste). L'analyse de ces données nous a permis de présélectionner 24 images d'objet. Afin d'éviter que certaines images soient plus facilement perçues que d'autres, nous avons demandé à 23 adultes supplémentaires de juger de leur complexité visuelle. La procédure utilisée est celle de Snodgrass et Vanderwart (1980) : les participants doivent juger la complexité visuelle des stimuli sur une échelle allant de 1 (très peu complexe) à 5 (très complexe). Nous avons finalement retenu 20 images d'objet de complexité visuelle moyenne et équivalente² (voir Figure 14) : 5 objets « préhensibles » perçus comme pouvant être saisis mais pas appuyés, 5 objets « appuyables » perçus comme pouvant être appuyés mais ne pouvant pas être saisis, 5 objets « préhensibles et appuyables » perçus comme pouvant à la fois être saisis et appuyés et 5 objets incompatibles perçus comme ne pouvant être ni saisis, ni appuyés.

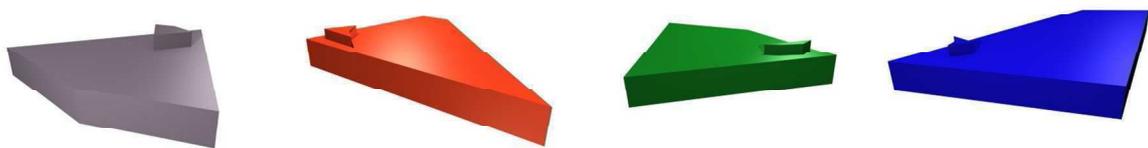


Figure 14 : Exemples d'images utilisées dans la tâche de catégorisation (de gauche à droite : un objet préhensible, un objet appuyable, un objet préhensible et appuyable et un objet ni préhensible ni appuyable).

Pour éviter que les enfants ne se focalisent sur les caractéristiques visuelles des stimuli, les 20 objets ont été habillés avec 5 couleurs différentes. Finalement, 100 images

² L'effet du type d'item sur le jugement de complexité visuelle n'est pas significatif [$F(3,1<1$] (items appuyables $M = 2.37$; $ET = .31$, préhensibles $M = 2.52$; $ET = .16$, appuyables et préhensibles $M = 2.47$; $ET = .17$ et incompatibles $M = 2.63$; $ET = .33$).

d'objet ont été créées. Il en résulte 75 essais construits en appariant les 75 objets compatibles (25 objets préhensibles, 25 objets appuyables, et 25 objets préhensibles et appuyables) avec un objet incompatible (i.e. ni préhensible ni appuyable). Chaque objet incompatible est ainsi apparié alternativement avec un objet préhensible, un objet appuyable et un objet à la fois préhensible et appuyable. Cette répétition a été contrôlée en présentant l'objet incompatible dans trois couleurs différentes. Dans un même essai, les deux objets appariés sont de même couleur.

Procédure

Après la phase d'entraînement, les enfants prennent place devant un écran d'ordinateur (ordinateur Dell Latitude E5500, écran de 15 pouces). Chaque essai débute par un point de fixation présenté pendant 500 millisecondes (ms). Puis les deux images d'objet (450 x 450 pixels) apparaissent (une à droite de l'écran et une à gauche) et restent affichées jusqu'à la réponse de l'enfant. Les enfants doivent choisir le plus rapidement et le plus précisément possible l'image d'objet qui leur paraît être de la « même famille », de la « même sorte » que les objets de manipulation. La réponse est donnée par clavier : les enfants pressent la touche « a » pour choisir l'image de gauche et la touche « b » pour choisir celle de droite. Chaque réponse entraîne le début d'un nouvel essai. L'expérience comporte 75 essais. La présentation aléatoire des 75 essais de la tâche de catégorisation est assurée grâce au logiciel E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA).

Identification

Matériel

Nous avons utilisé les 20 items sélectionnés pour la tâche de catégorisation, colorés en violet, de manière à ce que *a*) les images ne soient pas identiques à celles de la phase précédente et *b*) assurer une homogénéité dans la succession des items.

Procédure :

Cette phase a lieu juste après la phase de catégorisation, et se déroule sur le même ordinateur (ordinateur Dell Latitude E5500, écran de 15 pouces). Chaque essai

début par une croix de fixation présentée pendant 500 ms. Puis, l'image de l'objet (450 x 450 pixels) apparaît au centre de l'écran et reste affichée jusqu'à la réponse de l'enfant. Les enfants doivent décider si l'objet présenté à l'écran leur paraît être de la « même famille », de la « même sorte » que les objets de manipulation. La réponse est donnée par clavier : les enfants droitiers pressent la touche « d » pour répondre non et la touche « k » pour répondre oui. Les touches de réponse sont inversées pour les enfants gauchers. Chaque réponse entraîne le début d'un nouvel essai. L'expérience comporte 20 essais, la présentation aléatoire des stimuli est assurée par le logiciel E-Prime (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, PA).

6.3. Résultats

Durant la phase d'entraînement, les enfants ont été répartis entre les deux conditions expérimentales « saisir pince fine » et « appuyer ». Néanmoins les groupes ne sont pas égaux. Aussi, pour équilibrer les groupes entre les conditions de manipulation à chaque âge, les données de 6 enfants (2 par groupe d'âge) ont été supprimées des analyses. Finalement les analyses incluent un ensemble de 98 enfants (32 enfants de 5 ans, 34 enfants de 7 ans et 32 enfants de 9 ans).

Les résultats présentés ci-après incluent une première analyse des données de la tâche de catégorisation en fonction de la congruence entre les items choisis et le geste réalisé auparavant, puis une analyse par item des données de la tâche d'identification. La première analyse nous permet de tester directement l'hypothèse selon laquelle les objets congruents avec un des entraînements seront plus souvent choisis que les objets incongruents. La deuxième analyse nous permet de vérifier que les choix majoritaires d'objets préhensibles observés dans la tâche de catégorisation en choix forcé reflètent des choix catégoriels stables (i.e. observables dans différentes tâches). Finalement, les résultats laissant supposer une influence particulière des objets préhensibles, nous avons effectué une analyse complémentaire sur les temps de réponse de la première tâche afin d'évaluer dans quelle mesure les résultats observés sont imputables à une facilité ou une difficulté de traitement de certains objets.

Catégorisation en choix forcé : tester l'effet de congruence

Cette première analyse est motivée par la recherche d'un éventuel effet de manipulation sur les performances catégorielles des enfants. Globalement, les enfants choisissent très peu d'objets incongruents (i.e. ni préhensibles ni appuyable) ($M=29\%$ à 5 ans ; $M=25\%$ à 7 ans ; $M=26\%$ à 9 ans). Cependant, nous faisons l'hypothèse que l'entraînement affectera les performances des enfants, à savoir qu'ils choisiront plus d'objets congruents avec l'entraînement effectué au préalable que d'objets incongruents. Les choix d'objets préhensibles sont congruents avec un entraînement « saisir à 2-3 doigts », et incongruents avec un entraînement « appuyer ». Les choix d'objets appuyables sont congruents avec un entraînement « appuyer », et incongruents avec un entraînement « saisir à 2-3 doigts ». Les choix d'objets préhensibles et appuyables sont congruents avec les deux entraînements.

Une ANOVA est réalisée sur les pourcentages moyens de choix avec l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« saisir à 2-3 doigts » ou « appuyer ») comme facteurs inter-sujets et le type d'objet choisi (congruent ou incongruent) comme facteur intra-sujet. La Figure 15 présente la distribution des choix congruents et incongruents en fonction de l'entraînement réalisé au préalable et l'âge. Globalement, les enfants choisissent plus d'objets après l'entraînement « appuyer » que « saisir à 2-3 doigts » [$F(1, 92)=4.19$; $CMe=413$; $p=.043$]. Cet effet de la condition d'entraînement interagit avec le type d'item choisi [$F(1, 92)=18.235$; $CMe=94$; $p<.001$]. Les comparaisons planifiées indiquent que cette influence ne concerne pas le nombre d'objets congruents choisis ($M=73.4\%$ dans les deux conditions ; [$F(1, 96)<1$]), mais plutôt le nombre d'objets incongruents. Effectivement, les choix d'objets incongruents sont plus fréquents après un entraînement « appuyer » ($M=78.7\%$) qu'après un entraînement « saisir à 2-3 doigts » ($M=66,9\%$) [$F(1, 92)=12.21$; $CMe=282,79$; $p<.001$].

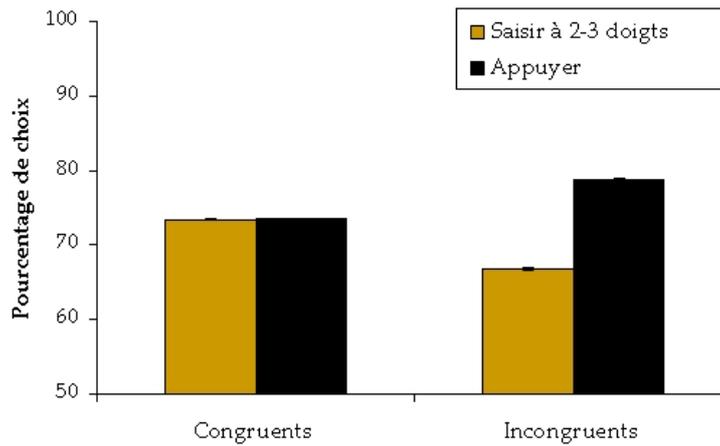


Figure 15: Pourcentage de choix moyens d'objets congruents et incongruents en fonction de la condition d'entraînement (saisir à 2-3 doigts vs. appuyer). Les choix d'objets préhensibles sont congruents avec un entraînement « saisir à 2-3 doigts », mais incongruents avec un entraînement « appuyer ». Les choix d'objets appuyables sont congruents après un entraînement « appuyer », mais incongruents après un entraînement « saisir pince fine ». Les choix d'objets préhensibles et appuyables sont congruents avec les deux entraînements.

Contrairement à nos hypothèses, nous n'observons pas d'effet de congruence sur les choix des enfants. Cette absence d'effet semble être portée par une indifférenciation entre similarité de volume et similarité d'appui après un entraînement « appuyer ». En effet, les résultats indiquent que cet entraînement-là conduit les enfants à choisir plus d'objets incongruents (i.e., préhensibles) que d'objet congruents (i.e., appuyables et appuyables et préhensibles). Il semblerait donc que les enfants ayant été entraînés à appuyer appréhendent les caractéristiques liées à la fois aux propriétés de volume et aux propriétés d'appui des objets, avec un avantage pour les objets portant les caractéristiques liées au volume de l'objet. Par contre, l'entraînement « saisir à 2-3 doigts » produit plus de choix d'objets congruents (i.e., préhensibles et préhensibles et appuyables ; $M=73,4\%$) que d'objets incongruents (i.e., appuyables ; $M=66,9\%$) [$F(1, 92)= 11.12$; $CMe=94,38$; $p=.001$]. Il semble donc que l'entraînement « saisir à 2-3 doigts » oriente les enfants vers la prise en compte de la similarité de volume de la partie manipulée. Avant de discuter plus précisément des facteurs potentiels de cette asymétrie de choix en fonction de la condition de manipulation, il convient de vérifier

que ces résultats se retrouvent dans une tâche de catégorisation moins contrainte où l'enfant accepte ou refuse l'appartenance catégorielle d'un objet.

Identification

Dans cette épreuve, les enfants ont indiqué pour chaque objet s'ils le considéraient comme appartenant à la catégorie des objets manipulés. Le Tableau 6 présente le nombre moyen d'inclusions pour chaque type d'objet. Si les choix catégoriels des enfants sont cohérents dans les deux tâches, l'entraînement « saisir à 2-3 doigts » et l'entraînement « appuyer » devraient permettre aux enfants d'accepter les objets préhensibles ainsi que les objets préhensibles et appuyables comme membres de la catégorie des objets manipulés.

Tableau 6 : Moyenne (et écart-type) du nombre d'objets appuyables, préhensibles, ou préhensibles et appuyables considérés comme appartenant à la catégorie des objets manipulés lors de l'entraînement en fonction du type d'entraînement « saisir à 2-3 doigts » ou « appuyer ». Etant donné qu'il y avait 5 objets de chaque type, les moyennes sont sur 5.

| | Saisir | Appuyer |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Appuyables | 2,22 (0,18) | 2,77 (0,18) |
| Préhensibles | 3,16 (0,16) | 3,35 (0,16) |
| Appuyables et Préhensibles | 3,35 (0,21) | 3,37 (0,21) |

Ces hypothèses ont été directement testées à l'aide de comparaisons planifiées sur le nombre moyen d'inclusions avec la condition d'entraînement (« saisir à 2-3 doigts » ou « appuyer ») comme facteur inter-sujets et le type d'objet choisi (préhensibles, appuyables, préhensibles et appuyables) comme facteur intra-sujet.

Après un entraînement « saisir à 2-3 doigts », les enfants acceptent plus d'objets préhensibles (i.e., préhensibles et préhensibles et appuyables) que d'objets appuyables [$F(1, 94) = 20.24$, $CMe = 1.68$; $p < .001$]. L'entraînement « appuyer » conduit au même résultat : les enfants acceptent plus d'objets préhensibles (i.e., préhensibles et préhensibles et appuyables) que d'objets appuyables [$F(1, 94) = 6.71$, $CMe = 1.68$; $p = .011$]. Ainsi, les choix catégoriels des enfants semblent principalement dirigés par la

perception des caractéristiques de préhension et ce, indépendamment de la condition d'entraînement. Afin de pouvoir argumenter ce point décisif quant à l'hypothèse d'une prise en compte automatique (i.e., indépendamment du type d'entraînement) de la possibilité de saisir les objets (i.e., affordance de la préhension), nous réalisons une analyse complémentaire sur les temps de réponse de la tâche de catégorisation en choix forcé.

Catégorisation en choix forcé : analyse des temps de réponse

Les deux analyses précédentes nous laissent supposer que, dans cette expérience, seule la perception des caractéristiques liées à la préhension des objets sous-tend les choix des enfants. Afin de pouvoir tester directement cette hypothèse, une ANOVA est réalisée sur les temps de réponse moyens avec comme facteurs inter-sujets la condition d'entraînement (saisir pince fine *vs.* appuyer) et l'âge (5 ans, 7 ans et 9 ans), et comme facteur intra-sujet le type d'objet choisi (préhensibles, appuyables, *vs.* préhensibles et appuyables). Les temps moyens de réponse correspondant à cette analyse sont présentés dans la Figure 16. Si les choix des enfants sont sous-tendus uniquement par la perception des affordances à la préhension, nous devrions observer une facilitation des choix d'objets préhensibles (i.e. préhensibles et préhensibles et appuyables) par rapport aux objets appuyables. De plus, compte tenu des observations chez l'adulte (Tucker & Ellis, 2001) et chez l'enfant (Kalenine et al., 2009), cet effet d'affordance devrait être modulé par la condition d'entraînement : les choix d'objets préhensibles (i.e. préhensibles et préhensibles et appuyables) devraient être plus rapides après un entraînement compatible (i.e., saisir à 2-3 doigts) qu'incompatible (i.e. appuyer).

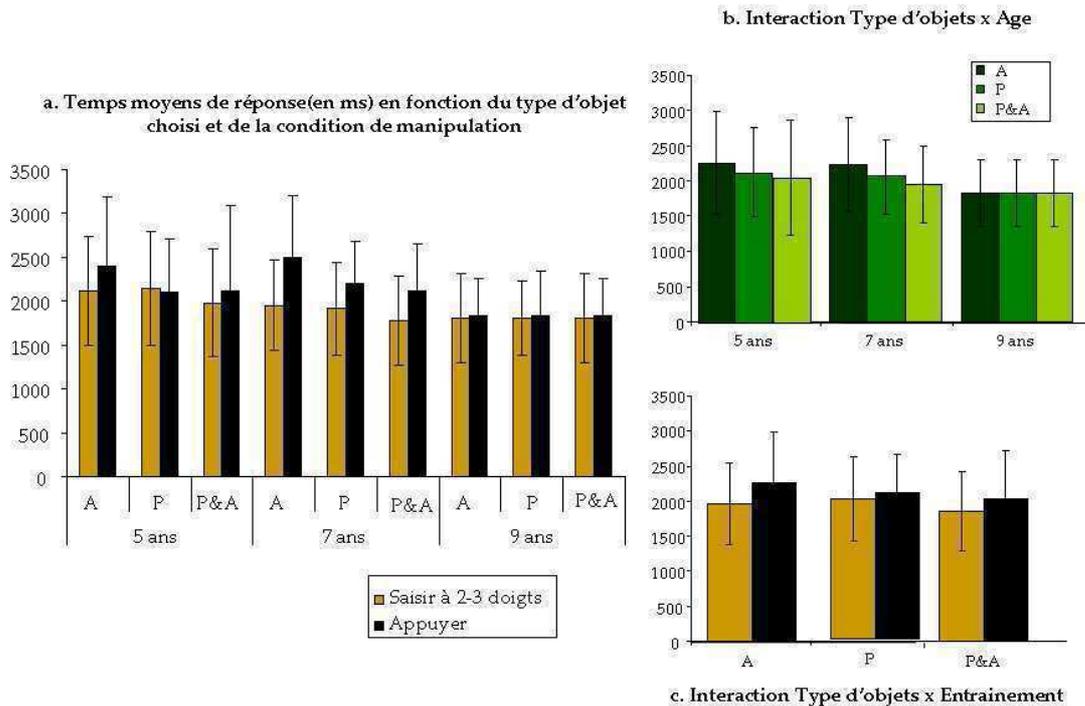


Figure 16 : Temps moyens de réponse (ms) en fonction de l'entraînement et du type de l'objet choisi pour les enfants de 5, 7 et 9 ans. La Figure 16a. illustre le pattern général des résultats. La Figure 16b. illustre les moyens temps de réactions (ms) en fonction du type d'objet choisis (A-Appuyable, P-Préhensible, P&A-Préhensible et Appuyable) et de l'entraînement (Saisir à 2-3 doigts ou Appuyer). La Figure 16c. illustre la modulation des choix (A-Appuyable, P-Préhensible, P&A-Préhensible et Appuyable) en fonction de l'entraînement (Saisir à 2-3 doigts ou Appuyer).

Conformément à l'hypothèse d'une perception d'affordance à la préhension, les résultats indiquent un effet principal du type d'item [$F(2, 184) = 11.33$; $CMe=5.75$; $p<.0001$] : les objets préhensibles (i.e., préhensibles, et préhensibles et appuyables) sont plus rapidement choisis que les objets non préhensibles (i.e., appuyables) [$F(1,92)=24,6$; $CMe = 95,5$; $p<.001$]. Les enfants mettent en moyenne 1971 ms pour choisir un objet préhensible ($ET= 600,1$ ms) et 2104 ms pour choisir un objet appuyable ($ET = 66,8$ ms). Cet effet principal est modulé par l'âge des enfants [$F(4, 184) = 3.030$; $CMe = 5.75$; $p=.019$] et la condition d'entraînement [$F(2, 184) = 4.05$; $CMe = 5.75$; $p=.019$] ; cependant les trois facteurs n'interagissent pas ensemble [$F(4, 184) = 1.17$; $CMe = 5.75$; $p=.327$]. Concernant la modulation par l'âge (voir Figure 16b), la facilitation de traitement des objets préhensibles est effective à 5 ans [$F(1, 92) = 12.76$; $CMe = 47448$; $p<.001$] et à 7 ans [$F(1, 92) = 24.10$; $CMe = 47448$; $p<.001$], mais absente à 9 ans [$F(1, 92) < 1$]. Comme le

montre la Figure 16c, l'interaction entre le type d'item choisi et la condition d'entraînement est principalement due au fait que le temps de traitement des objets appuyables est plus long après un entraînement « appuyer » ($M= 2249$ ms, $ET= 728,9$ ms) qu'après un entraînement « saisir pince fine » ($M= 1959, 31$ ms, $ET= 569,2$) [$F(1,92)=5,04$; $CMe = 393774$; $p=.027$]. Finalement, les résultats observés dans cette expérience font apparaître un effet de facilitation de traitement des objets préhensibles associé à une difficulté de traitement des objets non préhensibles particulièrement à l'œuvre après un entraînement « appuyer ».

6.4. Discussion

Les résultats issus de la tâche de catégorisation en choix forcé et ceux issus de la tâche d'identification catégorielle sont complémentaires. Les enfants présentent un pattern de choix équivalent quel que soit l'entraînement réalisé auparavant : ils choisissent majoritairement des objets préhensibles. Si l'on admet la pertinence des pré-tests réalisés avec les adultes, la supériorité des choix d'objets préhensibles et préhensibles et appuyables ne semble imputable ni à une facilité de traitement perceptif des ces items ni à une meilleure évocation des propriétés de préhension ou d'appui des objets. Ainsi, l'analyse des choix catégoriels tend à montrer que les enfants catégorisent sur la base de la similarité de préhension et ce, indépendamment de la condition d'entraînement, l'analyse des temps de réponses confirmant la facilité de traitement des objets préhensibles par rapport aux objets non préhensibles (i.e., appuyables).

Cette étude visait tout d'abord à évaluer dans quelle mesure les effets de l'entraînement sur les conduites catégorielles des enfants observés dans l'étude 3 et 4 pouvaient être généralisés à des entraînements sensori-moteurs différents. L'analyse des choix catégoriels en fonction de la congruence entre objets choisis et entraînement réalisé met en évidence un effet de congruence avec l'entraînement « saisir à 2-3 doigts » et ce, quel que soit l'âge. Ce résultat s'ajoute à de nombreuses observations chez l'adulte d'une facilitation du traitement conceptuel suite à la vision d'images de main (Borghetti et al., 2007) ou à l'exécution de gestes de préhension, pince fine et main

entière (Tucker & Ellis, 2001). Cependant, les choix d'objets préhensibles ne sont pas contraints par l'exécution d'un entraînement compatible (i.e., saisir à 2-3 doigts) ; au contraire, ils sont majoritaires même après la réalisation d'un geste incompatible (i.e., appuyer).

Nos résultats interrogent donc la manière dont la similarité de préhension est perçue et utilisée comme critère de catégorisation indépendamment des actions effectuées. Ceci pourrait être lié à la variabilité des objets proposés, la seule similarité perceptible (en dehors de la manipulation) étant la présence de la partie trapézoïdale de l'objet, de taille invariante. On peut supposer que les enfants auraient considéré la présence de cette partie comme une caractéristique d'appartenance catégorielle, choisissant les objets dotés d'une partie trapézoïdale similaire. Cependant, puisque tous les objets présentés en test possèdent une telle partie ; il semble que ce soit plutôt la possibilité de faire le geste de préhension qui régit les choix des enfants.

Chez l'adulte, les résultats qui mettent en évidence des effets d'amorçage par la présentation de main (Borghetti et al., 2007) ou des effets de compatibilité entre perception d'objet et exécution motrice (e.g. Bub et al., 2008; Tucker & Ellis, 2001, 2004) suggèrent que le statut particulier des informations de préhension est lié à une réactivation automatique des gestes de préhension, par le biais d'affordances perçues. Cependant, cette notion de réactivation automatique des gestes est parfois remise en cause, les effets d'amorçage et de compatibilité pouvant refléter aussi la correspondance entre action exécutée (ou vue) et affordances perçues (Buxbaum & Kalénine, 2010). Compte tenu de la procédure utilisée dans notre expérience, cette correspondance, pourrait régir la prise en compte des propriétés relatives à la préhension après un entraînement « saisir à 2-3 doigts ». Elle devrait alors s'accompagner d'une facilitation de traitement des objets préhensibles. L'analyse des temps de réponse révèle bien une différence de traitement des objets préhensibles par rapport à celui des objets non préhensibles.

Cependant, cette différence semble être due non pas à une facilité de traitement des objets préhensibles mais plutôt à une difficulté de traitement des objets non préhensibles après un entraînement « appuyer ». Cette influence spécifique, à l'opposé

de nos hypothèses pourrait refléter un conflit entre informations liées à la préhension et informations liées à l'appui, uniquement après un entraînement ayant permis de prendre en compte les propriétés relatives à l'appui (voir Jax & Buxbaum, 2010 pour une explication similaire sur la différence de traitement entre propriétés volumétriques et propriétés fonctionnelles).

Cette étude met en évidence une influence conjointe de la prise en compte des informations de préhension (quel que soit l'entraînement réalisé) et d'une difficulté de traitement des informations d'appui (uniquement après un entraînement compatible, i.e. appuyer). Ainsi, l'exécution du geste de saisir à 2-3 doigts permet aux enfants d'exclure les objets non préhensibles. A l'inverse, l'exécution du geste d'appui ne permet pas aux enfants d'exclure les objets non appuyables. Les résultats observés ici pourraient refléter une prise en compte automatique des informations de préhension, telle que supposée au fil des études. De plus, cette étude suggère une inégalité entre les expériences de préhension et d'utilisation des objets suggérant que les choix des enfants sont plus restreints après un geste de préhension qu'après un geste d'utilisation de type « appuyer » ou « faire rouler ».

Etude 7. L'impact différencié des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » lors de l'identification d'une cible : analyse des mouvements oculaires

7.1. Objectifs

Les précédentes études nous ont permis d'évaluer l'influence des entraînements sensori-moteurs sur les traitements catégoriels des enfants dans la tâche de catégorisation en choix forcé. Si l'on considère de manière synthétique les différents résultats obtenus, l'entraînement « saisir » fait augmenter les choix d'objets compatibles avec ce geste (à 9 ans dans l'étude 3, à 5 ans dans l'étude 4, dès 5 ans dans l'étude 6). En revanche, la similarité d'utilisation semble ne pas jouer sur la catégorisation, excepté à 9 ans dans l'étude 3.

Une interprétation possible de ces résultats serait de considérer la similarité de volume entre les objets choisis en test et les objets manipulés comme un indice de regroupement, pris en compte tout particulièrement par les enfants ayant effectué un geste de préhension. Selon les auteurs, cette correspondance pourrait être induite soit par une perception automatique des affordances soit par une réactivation des épisodes de manipulation de l'objet (voir, e.g., Borghi & Cimatti, 2010 pour une mise en perspective des différentes explications); il est également envisageable que affordance et réactivation agissent de concert. Nous avons, dans l'étude 6, approché la dissociation entre affordance et réactivation en utilisant des stimuli tests jugés comme pouvant être manipulés de la même manière que les objets de l'entraînement. Les résultats montrent que les enfants choisissent majoritairement des stimuli préhensibles et ce, indépendamment de l'entraînement. Cependant, cette étude mettait en jeu des entraînements (« saisir à 2-3 doigts » et « appuyer ») et des stimuli différents de ceux de toutes les autres études.

Le but principal de cette étude-ci est de préciser quelles informations dérivent des actions testées dans presque toutes les recherches précédentes (« saisir à pleine

main » et « faire rouler »). Il s'agit d'évaluer si les effets de l'entraînement « saisir à pleine main » peuvent être considérés comme résultant d'une perception d'affordance.

En parallèle, nous souhaitons également évaluer dans quelle mesure les informations relatives à la similarité d'utilisation sont prises en compte par les enfants. Cette étude est notamment motivée par les résultats récents obtenus chez l'adulte, mettant en évidence que, dans certains cas, les informations liées à l'utilisation spécifique des objets (comme taper sur les touches d'une calculatrice ou appuyer sur un spray) et celles liées aux informations structurales des objets (comme taille, forme ou volume) entrent en conflit (e.g., Bub et al., 2008; Jax & Buxbaum, 2010). Ainsi, lorsque l'utilisation spécifique des objets et leur saisie impliquent des gestes différents (e.g., saisir une calculatrice et taper sur les touches pour l'utiliser), le traitement des informations d'utilisation semble se faire plus tardivement que celui des informations liées au volume. Au contraire, lorsque l'utilisation spécifique de l'objet et sa saisie impliquent les mêmes gestes, (e.g., saisir un verre et boire dans un verre), le traitement des informations d'utilisation se fait rapidement, simultanément à celui des informations structurales. Ce conflit laisse supposer que les informations volumétriques relatives à la saisie des objets seraient automatiquement et précocement activées alors que celles relatives à l'utilisation des objets seraient consécutives à cette activation précoce (voir également Yee, Huffstetler, & Thompson-Schill, 2011 pour une distinction entre similarité de forme et similarité de fonction).

Les stimuli utilisés dans les études 3 à 5 sont définis par leur similarité de volume ou par leur similarité d'utilisation. Supposons que les enfants réalisent leur choix en se basant sur les informations encodées durant l'entraînement (i.e. informations liées à la manipulation). En ce qui concerne les objets de même volume, les informations volumétriques et les informations de manipulation sont concordantes après l'entraînement « saisir à pleine main » mais discordantes après l'entraînement « faire rouler ». Quant aux objets de même utilisation, les informations volumétriques et de manipulation sont discordantes après l'entraînement de « faire rouler » et n'ont pas de statut particulier après l'entraînement « saisir à pleine main » (aucune des informations portées par le stimulus ne correspond à des informations prise en compte lors de

l'entraînement). Ainsi, après un entraînement « faire rouler », les objets de même volume et de même utilisation sont donc tous les deux porteurs d'un conflit. La présence de conflit pourrait alors rendre la décision d'appartenance catégorielle caduque, les deux objets de choix étant d'aussi mauvais candidats l'un que l'autre.

Chez les enfants, il n'existe à notre connaissance aucune étude ayant testé l'hypothèse d'un décalage temporel d'activation des informations volumétriques et d'utilisation ni de résultats montrant que ces informations peuvent être conflictuelles.

Utiliser un paradigme d'enregistrement des mouvements oculaires lors de l'exploration visuelle semble particulièrement efficace pour mettre en évidence les composantes temporelles relatives à la perception visuelle d'objets de même volume ou de même fonction.. Classiquement ce paradigme implique la présentation simultanée de quatre objets, le participant devant identifier une cible parmi les 4 objets (e.g., Huettig & Altmann, 2011; Myung et al., 2006; Yee et al., 2011). L'intérêt de ce paradigme réside dans la présence des 3 distracteurs et à l'analyse des proportions de fixation sur ces distracteurs avant la reconnaissance de la cible. Par exemple, un distracteur sémantiquement relié à la cible sera plus fréquemment fixé que des distracteurs non reliés, cette augmentation des fixations étant classiquement interprétée comme un signe de l'activation d'informations sémantiques reliées (Huettig & Altmann, 2005). Cet effet de co-présentation d'images sémantiquement reliées s'explique théoriquement par la correspondance entre les stimuli disponibles dans l'environnement (i.e., en l'occurrence les distracteurs) et les caractéristiques propres à la cible nécessairement activées lors de sa recherche (voir, e.g. les chapitres de Altmann & Kamide, 2004; ou Spivey, Richardson, & Dale, 2009 pour de plus amples explications). Le paradigme d'enregistrement des mouvements oculaires lors de l'exploration visuelle semble donc un outil pertinent pour évaluer l'implication de différents types d'information dans les tâches catégorielles (Yee et al., 2011). En d'autres termes, l'analyse des mouvements oculaires permet d'étudier la manière dont l'attention visuelle peut se diriger vers différents distracteurs constituant des compétiteurs potentiels de la cible. Ce paradigme semble alors particulièrement

prometteur en ce qui concerne l'hypothèse d'une implication des informations sensorielles et motrices lors de l'accès aux connaissances conceptuelles.

Chez l'adulte, quelques études ont d'ores et déjà permis de montrer une implication des informations relatives à la couleur (Huettig & Altmann, 2011) ou à la forme globale des objets (Dahan & Tanenhaus, 2005). La proportion de fixations avant la reconnaissance d'une cible (e.g., un serpent) est plus importante sur le distracteur présentant une même forme (e.g. une corde) (Dahan & Tanenhaus, 2005) et ce, même si le distracteur n'est pas présenté dans sa forme typique (Yee et al., 2011). Dans l'étude de Yee et collaborateurs, avant l'identification d'une cible (e.g. un frisbee), le regard des participants est spécifiquement attiré par des distracteurs possédant une même forme typique (e.g., une pizza) mais présenté sous une forme différente de celle de la cible (e.g., une part de pizza). De plus, ces informations semblent être impliquées dès que le nom de la cible est entendu (à partir de 200 ms). Ces résultats suggèrent que les informations liées à la forme globale des objets sont activées dès que le participant entend un nom. Les informations liées à la manipulation des objets semblent également être impliquées lors de la reconnaissance de cible (Myung et al., 2006). Dans une de ces études (Myung et al., 2006, Expérience 2), les participants entendent un mot et doivent alors identifier la cible (e.g. machine à écrire) parmi quatre objets. Dans la moitié des essais, un des distracteurs implique les mêmes gestes de manipulation que la cible (e.g., piano) tandis que dans l'autre moitié des essais, un des distracteurs est de même forme que la cible (e.g., canapé). Les résultats indiquent que le distracteur de même manipulation est plus souvent fixé que les autres distracteurs et ce, entre 500 et 800 après le début de la prononciation du mot (la durée moyenne de prononciation du mot est de 750 ms). De plus, la proportion de fixations sur cet item est plus élevée que celle sur l'item relié visuellement. Sans comparer directement un effet de compétition entre les distracteurs de même forme et de même fonction, cette étude est la seule à notre connaissance qui permet de mettre en évidence une implication d'informations d'utilisation lors de l'exploration visuelle.

Ces différentes études confirment la pertinence d'analyser les patterns de fixation des enfants relativement à la condition d'entraînement. En effet, cette analyse

permettrait d'accéder de manière non invasive au décours temporel relatif à la prise en compte de certaines informations concernant les objets, ce qui en fait un outil particulièrement adapté aux études en développement (Feng, 2011). Afin de pouvoir évaluer l'impact de l'entraînement sur les patterns de fixation des enfants, nous choisissons d'adapter le paradigme utilisé dans les études 3 à 5 à l'étude des mouvements oculaires.

Les enfants sont donc d'abord soumis à une phase d'entraînement « saisir à pleine main » *vs.* « faire rouler ». Ils réalisent ensuite une tâche catégorielle dans laquelle ils doivent choisir parmi quatre objets celui qui appartient à la catégorie des objets de l'entraînement. L'objet à identifier (i.e., la cible) est un exemplaire similaire mais pas identique d'une des sphères utilisées lors de l'entraînement; ainsi, la tâche constitue bien une tâche catégorielle de niveau de base. Cependant, pour éviter la confusion avec la tâche de catégorisation surordonnée utilisée jusqu'ici, nous la qualifierons, dans la suite du manuscrit, de tâche d'identification de cible. A chaque essai, la cible est présentée avec un distracteur « volume » (une image d'objet pouvant être saisi comme dans l'entraînement « saisir à pleine main »), un distracteur « utilisation » (une image d'objet pouvant être utilisé comme dans l'entraînement « faire rouler ») et un distracteur non relié (une image d'objet ne pouvant être ni saisi comme dans l'entraînement « saisir à pleine main », ni utilisé comme dans l'entraînement « faire rouler »).

L'hypothèse d'une prise en compte spécifique des informations relatives au volume des objets par le biais d'un geste de préhension se traduira par une proportion de fixations sur le distracteur « volume » plus importante après l'entraînement « saisir à pleine main » qu'après l'entraînement « faire rouler ». Symétriquement, l'hypothèse d'une prise en compte spécifique des informations relatives à l'utilisation des objets par le biais d'un geste d'utilisation se traduira par une proportion de fixations sur le distracteur « utilisation » plus importante après un entraînement « faire rouler » qu'après un entraînement « saisir à pleine main ». Cependant, pour pouvoir conclure à un effet de l'entraînement sur la prise en compte d'informations spécifiques, la proportion de fixations sur le distracteur compatible avec un des deux entraînements

(i.e. distracteur « saisie » ou distracteur « utilisation ») doit également être plus importante que celle sur le distracteur non relié).

Les résultats obtenus dans les études précédentes laissent supposer que les informations relatives au volume sont prises en compte indépendamment de l'entraînement effectué au préalable et témoignent d'un effet d'affordance de la préhension, que ce soit après un entraînement « saisir à pleine main » ou « faire rouler ». Au niveau du pattern d'exploration visuelle, l'affordance des gestes de préhension devrait de traduire par une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « volume » que sur les 2 autres distracteurs, « utilisation » et non relié, à tous les âges et indépendamment de la condition d'entraînement. Pourtant, une dernière hypothèse permet d'envisager une coexistence de l'influence de l'entraînement et de la perception d'affordance. Dans ce cas, la plus grande proportion de fixations sur le distracteur « saisie » que sur les 2 distracteurs « utilisation » et non relié devrait être modulée par la condition d'entraînement. Ainsi, après un entraînement « saisir à pleine main », seules les informations de même volume devraient être prises en compte et induire une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « saisie » que sur les autres distracteurs. Au contraire, l'entraînement « faire rouler » devrait induire une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « utilisation » (effet de l'entraînement) et sur le distracteur « saisie » (effet d'affordance) que sur le distracteur non relié.

7.2. Méthode

Participants

Trois groupes d'âge ont participé à cette expérience : 28 enfants de 5 ans (M=5 ans 6 mois, ET= 3,2 mois), 18 filles et 12 garçons, 35 enfants de 7 ans (M=7 ans 7 mois, ET= 3,2 mois), 12 filles et 19 garçons, 35 enfants de 9 ans (M=9 ans 6 mois, ET= 4,1 mois), 21 filles et 13 garçons.

Design Expérimental

Comme dans les études précédentes, les expériences se déroulent en deux phases successives : une phase d'entraînement et une phase de catégorisation. Les enfants sont

d'abord répartis dans les deux conditions d'entraînement et manipulent 7 objets sphériques. Ils réalisent ensuite une tâche d'identification de la cible parmi 4 images. Lors de la phase test, l'écran utilisé pour présenter les stimuli permet d'enregistrer les mouvements oculaires liés à l'exploration visuelle de l'écran.

Entraînement sensori-moteur

Dans cette phase d'entraînement, les enfants sont répartis aléatoirement dans l'une des deux conditions: « saisir à pleine main » ou « faire rouler ». Le matériel et la procédure sont identiques à ceux de l'étude 3.

Identification de la cible

Matériel

La tâche d'identification de cible est couplée à un paradigme d'enregistrement des mouvements oculaires. A chaque essai, l'écran est divisé en quatre parties délimitées par une couleur et séparées par une croix blanche. Le quart en haut à gauche est bleu, celui en haut à droite vert, celui en bas à gauche rouge et celui en bas à droite est jaune. Dans chaque quart apparaît une image : une image cible (une sphère) et trois distracteurs. Parmi ces distracteurs, l'un est non relié avec les entraînements (i.e., distracteur non relié) et les deux autres sont compatibles soit avec l'entraînement « saisir à pleine main » (i.e., distracteur « volume ») soit avec l'entraînement « faire rouler » (i.e., distracteur « utilisation »). Nous avons donc réorganisé les stimuli des études 3, 4, et 5¹ en triades de distracteurs auxquelles nous avons ajouté des objets cibles. Les images cibles sont des photos des sphères manipulées lors de l'entraînement, habillées avec 24 textures. Afin de pouvoir présenter à la fois chaque image cible dans les quatre positions et d'éviter un biais lié à la contingence de présentation des distracteurs (et en particulier celle concernant les distracteurs « volume » et « utilisation »), 96 essais ont été créés. Au final, chaque distracteur

¹ Pour rappel, les 144 stimuli utilisés dans les études 3, 4, et 5 ont été créés en habillant 18 formes de base (6 objets de « même saisie », 6 objets de « même utilisation », et 6 objets non reliés) avec 24 textures différentes.

apparaît 16 fois, quatre fois dans chaque position mais avec une combinaison de contingence différente. Dans un même essai, les quatre distracteurs ont la même texture, ce qui crée une certaine homogénéité visuelle des stimuli.

Acquisition des données

Les mouvements oculaires sont enregistrés avec un appareil Tobii T120 Eye Tracker (Tobii Technology AB, Danderyd, Sweden)² à un taux de 120 Hz, intégré dans un moniteur (1280 x 1024 pixels) compatible avec E-prime et relié au logiciel ClearView 2.7.1 (par le biais d'un ordinateur Dell Latitude). Le principe de cet appareil repose sur la technique du reflet cornéen : l'enregistrement par une caméra infra-rouge de la réflexion de la lumière émise par la cornée relativement à celle émise par la pupille. Des rayons infrarouge sont dirigés vers les yeux, le contraste entre la lumière réfléchie par la cornée et celle réfléchie par la pupille permet de définir la position du regard sur l'écran. Cet appareil d'enregistrement des mouvements oculaires est particulièrement adapté aux enfants car il ne nécessite ni casque ni mentonnière et tolère les instabilités de port de tête (fenêtre de mouvements tolérés : 30_22_30 cm). De plus, il est fourni avec une mallette qui le rend facilement transportable dans les écoles. Une procédure de calibration en 5 points, réalisée pour chaque enfant juste avant la présentation des essais, nous assure de la justesse et de la précision spatiale (0,5 degrés) de la mesure.

7.3. Résultats

Certains participants ont été exclus des analyses (comportementales et oculométriques) du fait soit d'un nombre élevé d'erreurs (nombre de bonnes réponses inférieur à 2 ET de la moyenne de leur groupe d'âge, 1 participant éliminé par groupe d'âge), soit d'un problème³ lors de l'acquisition des données oculométriques (3 enfants à 5 ans, 4 enfants à 7 ans et 2 enfants à 9 ans). Ensuite, afin d'avoir le même nombre de participants dans les deux conditions d'entraînement, 4 enfants de 7 ans et 4 enfants de

² Cet appareil nous a été prêté par l'Université de Provence, et les travaux présentés ici sont issus d'une collaboration avec Agnès Blaye.

³ Nous avons éliminé les participants dont les données n'ont pu être acquises pour tous les essais. Cette perte du signal au cours de l'expérience est généralement due à un déplacement brusque de la tête, au port de lunettes, ou encore aux conditions d'éclairage de la salle.

9 ans ont du être écartés des analyses. Finalement, les analyses incluent 76 enfants (24 enfants de 5 ans, 24 enfants de 7 ans et 28 enfants de 9 ans), la moitié d'entre eux ayant réalisé l'entraînement « saisir à pleine main », l'autre moitié ayant réalisé l'entraînement « faire rouler ».

Les trois premiers essais sont considérés comme des essais de familiarisation à la procédure et sont donc exclus des analyses. Les essais dont les temps de réponse (TR) sont supérieurs à 3 écart-types de la moyenne du sujet (1,5 % des données) ont également été exclus.

Données comportementales

Sont rapportées ici les données relatives à l'exactitude des réponses données par les enfants. Les pourcentages moyens d'identifications correctes par âge et selon la condition d'entraînement apparaissent dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Pourcentages moyens d'identification de la cible en fonction de la condition d'entraînement et de l'âge. Les écarts- types sont donnés entre parenthèses.

| | Rouler | Saisir |
|--------------|---------------|---------------|
| 5 ans | 91,13 (18,19) | 92,69 (17,72) |
| 7 ans | 98,62 (2,42) | 98,53 (2,19) |
| 9 ans | 99,62 (0,53) | 99,31 (1,24) |

Une ANOVA réalisée sur le pourcentage moyen d'identifications correctes avec l'âge (5, 7, ou 9 ans) et la condition d'entraînement (« Saisir à pleine main » vs. « Faire rouler » en facteur inter-sujets indique un effet de l'âge [$F(2, 70) = 4,1$; $CMe = 103,3$; $p = .021$]. Les performances des enfants de 7 et 9 ans sont équivalentes [$F(1,70) < 1$] ; celles des enfants de 5 ans sont plus faibles [$F(1, 70) = 8,01$; $CMe = 103,3$; $p = .006$]. Le type d'entraînement réalisé ne semble pas affecter les performances [$F(1, 68) < 1$], ce qui suggère qu'il n'y a pas de difficulté inhérente à l'entraînement (il y a en moyenne 97% d'identifications correctes).

Données oculométriques

Prétraitements des données oculométriques

L'analyse des données oculométriques est largement inspirée de deux articles ayant utilisé le même appareillage chez des enfants d'âges comparables (Chevalier, Blaye, Dufau, & Lucenet, 2010; Yu & Smith, 2011). Comme nous souhaitons étudier l'exploration visuelle des stimuli avant l'identification de la cible, les essais correspondant à des réponses fausses (5,2 % des données totales) ont été exclus des analyses.

Les fixations oculaires ont été calculées grâce au logiciel ClearView 2.7.1, et catégorisées en fonction de leur position sur l'écran. Quatre aires d'intérêt (AOI) correspondant aux quatre quarts colorés de l'écran sont alors définies. Pour chaque essai, chacune des AOI correspond à un objet cible, un distracteur « volume », un distracteur « utilisation » ou un distracteur non relié. Les fixations hors AOI sont considérées comme des fixations non pertinentes. Cependant, cette répartition des fixations en AOI pourrait générer des artefacts : considérer deux fixations différentes là où il n'y en a qu'une ou considérer une AOI comme étant fixée alors que le regard ne s'est pas suffisamment attardé. Afin de générer des résultats plus représentatifs de l'exploration visuelle de l'écran par les enfants, les fixations non pertinentes c'est-à-dire dont la durée cumulée n'excède pas 50 ms et qui apparaissent entre deux fixations de la même AOI, ont été attribués à cette AOI. De plus, les fixations sur une AOI dont la durée cumulée est inférieure à 50 ms ont été considérées comme des fixations non pertinentes.

Finalement, la proportion de fixations sur chaque AOI (cible, distracteur « volume », distracteur « utilisation », distracteur non relié) a été calculée pour chaque tranche de 100 ms après l'apparition des stimuli. La Figure 17 montre les proportions moyennes par groupe d'âge, en fonction du temps après l'apparition des stimuli jusqu'à l'atteinte du critère de reconnaissance de la cible (70% de fixations sur la cible).

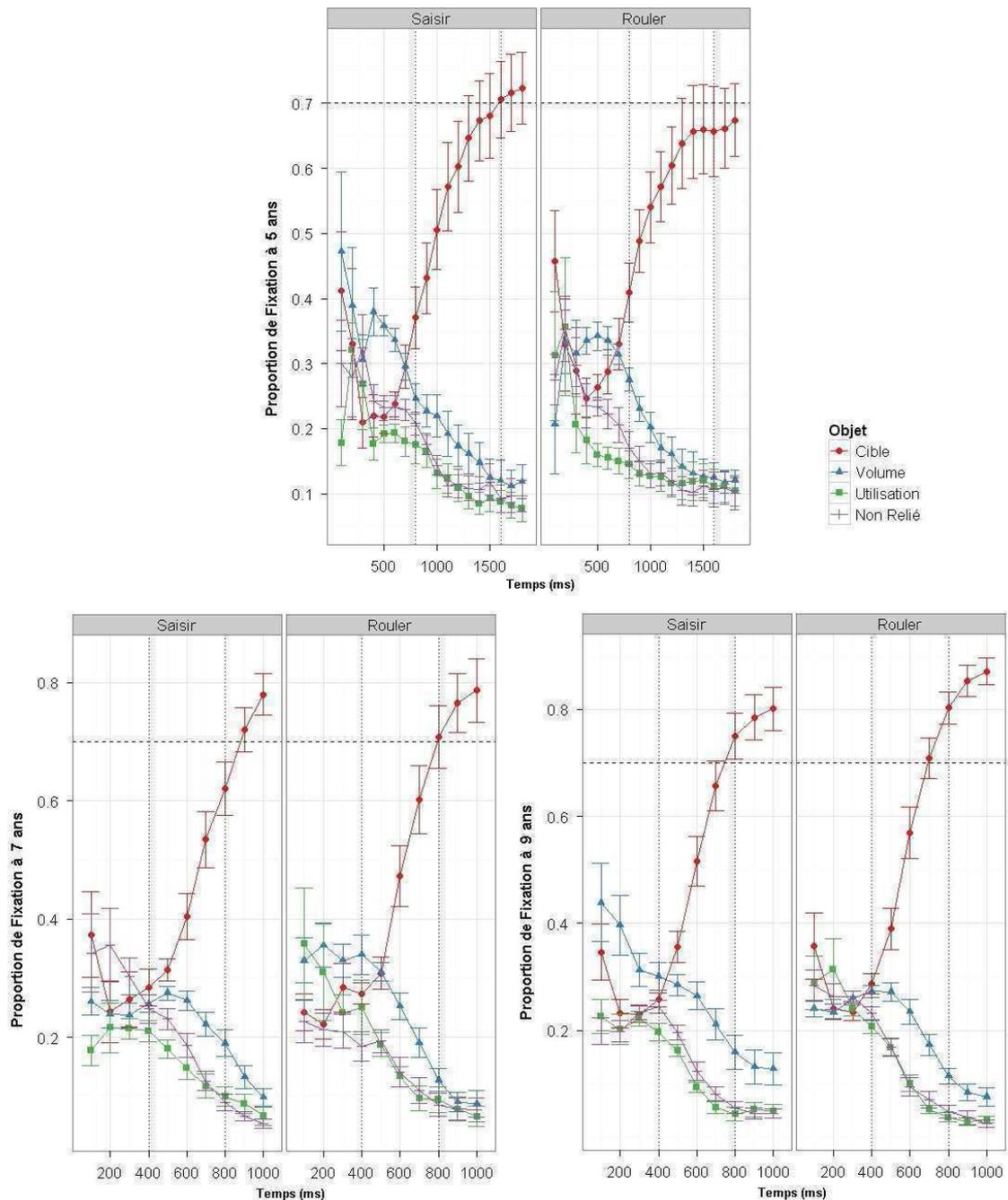


Figure 17 : Représentation graphique du dérours temporel des proportions de fixation sur la cible et les distracteurs (Volume, Utilisation ou non relié) en fonction de l'entraînement réalisé au préalable « Saisir à pleine main » (saisir) ou « Faire rouler » (rouler) par les enfants de 5 ans (en haut), 7 ans (en bas à gauche), et 9 ans (en bas à droite). Les barres représentent les écart-types. La ligne horizontale permet de situer 70% de fixations sur la cible, les deux barres verticales permettent de visualiser les deux patterns analysés : le pattern des fixations précoces (i.e., avant 800 ms à 5 ans, et avant 400 ms à 7 et 9 ans) et le pattern des fixations plus tardives (i.e., entre 800 ms et 1600 ms à 5 ans, et entre 400 ms et 800 ms à 7 et 9 ans).

Analyses statistiques des données oculométriques

Les enfants de 5 ans présentent un profil d'exploration visuelle beaucoup plus variable et de durée beaucoup plus longue que les enfants de 7 et 9 ans. En effet, l'atteinte du critère de reconnaissance de la cible est aux alentours de 1600 ms pour les enfants de 5 ans et aux alentours de 800 ms pour les enfants de 7 et 9 ans. Ce temps d'exploration plus long faisant écho aux plus faibles performances des jeunes enfants dans la tâche d'identification, il nous semble pertinent d'analyser les données des enfants de 5 ans séparément et celles des enfants de 7 et 9 ans ensemble.

De plus, les travaux réalisés chez l'adulte (Myung et al., 2006; Yee, Drucker, & Thompson-Schill, 2010) permettent d'envisager que l'influence des distracteurs varie au cours du temps. En particulier, d'après Yee et collaborateurs (2010), la prise en compte des informations relatives à l'utilisation seraient consécutives à celles des informations relatives à la forme des objets (voir également, Binkofski & Buxbaum, 2012; Buxbaum & Kalénine, 2010). Au contraire, une perspective incarnée des connaissances postule un effet précoce de l'entraînement sur la prise en compte des distracteurs, témoignant d'une réactivation automatique des informations expérimentées. Afin de pouvoir tester cette hypothèse, les données sont séparées en deux parties de durée équivalente (800 ms pour les enfants de 5 ans et 400 ms pour les enfants de 7 et 9 ans). Nous faisons l'hypothèse d'une modulation précoce (i.e. avant 800 ms pour les enfants de 5 ans et avant 400 ms pour les enfants de 7 et 9 ans) du pattern d'exploration visuelle des objets par l'entraînement. Cette modulation précoce devrait rendre compte de l'influence des entraînements « saisir à pleine main » et « faire rouler » sur la prise en compte des informations volumétriques (portées par le distracteur « saisie ») et des informations d'utilisation (portées par le distracteur « utilisation »), respectivement.

Nous présentons les ANOVAs réalisées sur la moyenne des proportions de fixations précoces d'abord chez les enfants de 5 ans (i.e., avant 800 ms), puis chez les enfants de 7 et 9 ans (i.e, avant 400 ms).

Influence précoce de l'entraînement sur l'exploration visuelle des stimuli

Le design expérimental utilisé dans cette étude nous permet de confronter la proportion de fixations sur chacun des objets présentés (i.e. la cible, le distracteur « volume », le distracteur « utilisation » et le distracteur non relié en fonction de la condition d'entraînement. Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction, le pattern de fixations observé dans les premières ms après l'apparition des objets devrait nous permettre, le cas échéant, de dissocier les influences relatives à la perception d'affordance de celles relatives à l'entraînement. Une stricte influence des affordances se traduira par un effet principal du type d'objet, indiquant une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « volume » que sur les autres distracteurs. Une stricte influence de l'entraînement devrait donner lieu à une interaction entre le type d'objet et la condition d'entraînement, c'est-à-dire que chaque entraînement devrait induire un pattern de fixations en faveur du distracteur correspondant (et aux dépens des 2 autres distracteurs) Ainsi, le distracteur « volume » devrait être plus fréquemment fixé après l'entraînement « saisir à pleine main » qu'après l'entraînement « faire rouler » tandis que le distracteur « utilisation » devrait être plus fréquemment fixé après l'entraînement « faire rouler » qu'après l'entraînement « saisir à pleine main ». Enfin, une influence conjointe des affordances et de l'entraînement se traduira par une proportion élevée de fixations sur le distracteur « volume » plus importante après l'entraînement « saisir à pleine main » qu'après l'entraînement « faire rouler », induisant un pattern d'exploration spécifique après l'entraînement faire rouler : les distracteurs « volume » et « utilisation » devraient être autant fixés l'un que l'autre, mais plus que les distracteurs non reliés.

Nos hypothèses concernent donc principalement une modulation du pattern de fixations sur les distracteurs par la condition d'entraînement et ne concernent pas les proportions de fixations sur la cible. Les ANOVAs réalisées ci-dessous sur les proportions moyennes incluent donc le type de distracteur (« volume », « Utilisation » et Non Relié) comme facteur intra-sujet et la condition d'entraînement (« Saisir à pleine main » et « Faire Rouler ») comme facteur inter-sujet ; l'ANOVA réalisée sur les données des enfants de 7 et 9 inclut un facteur âge supplémentaire.

Influence précoce de l'entraînement sur l'exploration visuelle des stimuli à 5 ans

Pour les enfants de 5 ans, l'ANOVA réalisée sur la proportion moyenne des fixations dans les premières 800 ms (voir également Tableau 8) indique un effet principal du type d'objet [$F(1, 44)= 18,36$; $CMe=0,005$; $p<.001$]

Tableau 8 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 5 ans entre 0 et 800 ms après l'apparition des stimuli.

| | Rouler | Saisir |
|--------------------|-------------|-------------|
| Volume | 0,31 (0,05) | 0,34 (0,06) |
| Utilisation | 0,19 (0,09) | 0,20 (0,07) |
| Non Relié | 0,23 (0,07) | 0,25 (0,06) |

Cet effet principal du type d'objet dessine un pattern général de fixations montrant que le distracteur « volume » est plus souvent regardé que les 2 autres [$F(1, 22)= 42,58$; $CMe=0,004$; $p<.001$], la proportion de fixations sur les distracteurs « utilisation » ne différant pas de celle sur le distracteur non relié [$F(1, 22)= 3,15$; $CMe=0,007$; $p=.0921$]. Cet effet principal du distracteur « volume » n'interagit pas avec la condition d'entraînement [$F(2, 44)<1$]. Le pattern d'exploration visuelle dans les premières 800 ms des enfants de 5 ans indique donc une sensibilité particulière aux informations de volume pouvant témoigner de la perception automatique des informations liées à la préhension, portées par le distracteur « volume ».

Influence précoce de l'entraînement sur l'exploration visuelle des stimuli à 7 et 9 ans

Pour les enfants de 7 et 9 ans, le Tableau 9 présente la proportion moyenne de fixations pour chaque type d'objet en fonction de la condition d'entraînement et de l'âge.

Tableau 9 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, et le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 7 et 9 ans entre 0 et 400 ms après l'apparition des stimuli.

| | Rouler | | Saisir | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 7 ans | 9 ans | 7 ans | 9 ans |
| Volume | 0,32 (0,14) | 0,26 (0,03) | 0,25 (0,05) | 0,36 (0,15) |
| Utilisation | 0,32 (0,23) | 0,26 (0,10) | 0,19 (0,09) | 0,21 (0,05) |
| Non Relié | 0,20 (0,09) | 0,26 (0,04) | 0,28 (0,07) | 0,22 (0,05) |

L'ANOVA 3 x 2 x 2 réalisée sur la moyenne des proportions de fixations dans les premières 400 ms indique un effet principal du type d'objet [$F(2, 96) = 3,85$; $CMe = 0,013$; $p = .025$] modulé par l'entraînement [$F(2, 96) = 3,573$; $CMe = 0,013$; $p = .032$].

Après l'entraînement « faire rouler », l'absence de différence entre les distracteurs « volume » et utilisation [$F(1,48) < 1$] suggère qu'ils sont autant fixés l'un que l'autre, tout en l'étant plus que le distracteur non relié [$F(1, 48) = 3,82$; $CMe = 0,013$; $p = .056$ pour le distracteur « utilisation » ; $F(1, 48) = 4,24$; $CMe = 0,09$; $p = .044$ pour le distracteur « volume »]. Cette interaction suggère donc un effet d'affordance après l'entraînement « saisir à pleine main » et une influence conjointe des affordances et de l'entraînement après un entraînement « faire rouler ».

Cependant cette interaction est elle-même modulée par l'âge [$F(2, 96) = 5,45$; $CMe = 0,012$; $p = .004$]. Les comparaisons planifiées réalisées au sein de cette double interaction laissent envisager des patterns d'exploration différents aux deux âges.

A 9 ans, la proportion de fixations sur le distracteur « volume » plus grande que sur les autres distracteurs ([$F(1, 48) = 11,147$; $CMe = 0,016$; $p = .002$ pour le distracteur « utilisation » ; $F(1, 48) = 15,55$; $CMe = 0,009$; $p < .001$ pour le distracteur non relié]) est plus élevée après l'entraînement « saisir à pleine main » qu'après l'entraînement « faire rouler » [$F(1,48) = 7,96$; $p = .007$]. Ce pattern suggère une influence conjointe des affordances perçues et de l'entraînement, suite à l'entraînement « saisir à pleine main ». L'entraînement « faire rouler » semble, quant à lui, ne pas influencer les patterns

d'exploration visuelle des enfants de 9 ans, la proportion de fixations sur chaque distracteur étant équivalente ($M=0,26$ pour les trois distracteurs).

À 7 ans, l'entraînement « saisir à pleine main » ne semble pas influencer le pattern de reconnaissance des objets, les distracteurs « volume » et « utilisation » sont autant regardés l'un que l'autre [$F(1,48)<1$], et autant que le distracteur non relié : [$F(1, 48)<1$ pour le distracteur « utilisation » et [$F(1, 48)= 1,70$; $CMe=0,013$; $p=.198$] pour le distracteur « volume ». Après l'entraînement « faire rouler », l'absence de différence entre les distracteurs « volume » et « utilisation » [$F(1,48)< 1$] suggère qu'ils sont autant fixés l'un que l'autre. Cependant, ils sont plus regardés que le distracteur non relié : [$F(1, 48)= 6,92$; $CMe=0,013$; $p=.011$ pour le distracteur « utilisation », et $F(1, 48)= 9,03$; $CMe=0,09$; $p=.004$ pour le distracteur « volume »]. De plus, la proportion de fixations sur le distracteur « utilisation » est plus importante après un entraînement « faire rouler » qu'après un entraînement « saisir à pleine main » [$F(1,48)=4,53$; $p=.038$]. Ce pattern suggère donc une influence conjointe des affordances perçues et de l'entraînement après un entraînement faire rouler.

Finalement, les effets mis en évidence par ces analyses suggèrent une modulation de l'effet de l'entraînement avec l'âge. En effet, l'attention visuelle des enfants de 5 ans est dirigée par la présence d'un distracteur de même volume que la cible. À 7 ans et 9 ans, les effets observés suggèrent une prise en compte conjointe des informations visuelles et des informations relatives à l'entraînement. De manière surprenante, cette influence conjointe est consécutive à l'entraînement « faire rouler » à 7 ans et à l'entraînement « saisir à pleine main » à 9 ans.

Influence tardive de l'entraînement sur l'exploration visuelle des stimuli

Les résultats observés dans les 400 premières ms suggèrent que l'influence de l'entraînement serait effective dès la présentation des stimuli. Une perspective strictement incarnée des concepts prédit une influence uniquement précoce des informations relatives à l'entraînement. Nous nous attendons donc à ce que l'exploration tardive se fasse majoritairement sur la cible et que les distracteurs soient

tous autant regardés les uns que les autres. Alternativement, certains travaux chez l'adulte (e.g. Binkofski & Buxbaum, 2012; Jax & Buxbaum, 2010) ont montré que l'influence des informations liées à l'utilisation des objets est plus tardive que celle des informations relatives à leur saisie. Si tel est le cas, nous devrions observer une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « utilisation » après un geste « faire rouler », en particulier à 7 ans puisque ces enfants semblaient sensibles à ces informations, qu'après un geste « saisir à pleine main ».

Les ANOVAs réalisées ci-dessous sur la moyenne des proportions de fixations entre 800 ms et 1600 ms chez les enfants de 5 ans et entre 400 ms et 800 ms chez les enfants de 7 et 9 ans incluent le type d'objet (cible, distracteur « volume», distracteur « utilisation », distracteur non relié) comme facteur intra-sujet et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » *vs.* « faire rouler ») comme facteur inter-sujet ; l'ANOVA réalisée sur les données des enfants de 7 et 9 ans inclut un facteur âge supplémentaire.

Analyse du pattern de fixations entre 800 et 1600 ms à 5 ans

A 5 ans, l'analyse de variance sur la moyenne des proportions de fixations entre 800 ms et 1600 ms (voir également Tableau 10) indique uniquement un effet principal du type d'objet [$F(3, 66) = 65,62$; $CMe = 0,02$; $p < .001$].

Tableau 10 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, le distracteur incompatible) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable («saisir à pleine main » *vs.* « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 5 ans entre 800 et 1600 ms après l'apparition des stimuli.

| | Rouler | Saisir |
|--------------------|-------------|-------------|
| Cible | 0,60 (0,21) | 0,60 (0,21) |
| Volume | 0,16 (0,08) | 0,17 (0,10) |
| Utilisation | 0,12 (0,07) | 0,11 (0,07) |
| Non Reliée | 0,12 (0,07) | 0,12 (0,06) |

Cet effet principal du type d'objet indique un contraste linéaire significatif [$F(1, 22) = 67,36$; $MCE = 0,035$; $p < .001$]. Plus précisément, les fixations sur la cible sont plus

nombreuses que celles sur le distracteur « volume» [F(1, 22)= 52,80 ; CMe=0,043; p<.001], elles mêmes plus nombreuses que celles sur le distracteur « utilisation » [F(1, 22)= 15,27 ; CMe=0,002; p<.001] ; la proportion de fixations sur les distracteurs « utilisation » et non relié sont équivalentes [F(1, 22) < 1]. Ce pattern n'étant pas modulé par la condition d'entraînement, on peut conclure qu'après 800 ms, les enfants de 5 ans regardent principalement la cible, mais l'effet de compétiteur du distracteur « volume» semble perdurer.

Analyse du pattern de fixations entre 400 et 800 ms à 7 et 9 ans

Chez les enfants de 7 et 9 ans, nous retrouvons exactement le même pattern. En effet, une ANOVA réalisée sur la moyenne des proportions de fixations entre 400 ms et 800 ms (voir également Tableau 11) avec le type d'objet (cible, distracteur « volume», distracteur « utilisation », distracteur non relié) comme facteur intra-sujet et la condition d'entraînement (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler ») et l'âge (7 ans vs. 9 ans) comme facteur inter-sujet, indique un effet principal du type d'objet [F(3, 144)= 228,0 ; CMe=0,010; p<.001] interagissant avec l'âge [F(3, 144)= 4,6 ; CMe=0,010; p=.004].

Tableau 11 : Moyenne des proportions de fixations sur chaque objet présenté à l'écran (la cible, le distracteur volume, le distracteur utilisation, et le distracteur non relié) en fonction de la condition d'entraînement réalisée au préalable (« saisir à pleine main » vs. « faire rouler »). Ces proportions sont relatives à l'exploration visuelle des enfants de 7 et 9 ans entre 400 et 800 ms après l'apparition des stimuli.

| | Rouler | | Saisir | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 7 ans | 9 ans | 7 ans | 9 ans |
| Cible | 0,52 (0,16) | 0,62 (0,14) | 0,49 (0,11) | 0,60 (0,15) |
| Volume | 0,22 (0,06) | 0,19 (0,06) | 0,24 (0,05) | 0,23 (0,09) |
| Utilisation | 0,12 (0,05) | 0,09 (0,04) | 0,13 (0,05) | 0,08 (0,03) |
| Non Reliée | 0,13 (0,07) | 0,10 (0,05) | 0,15 (0,04) | 0,12 (0,04) |

Plus précisément, les fixations sur la cible sont plus nombreuses que celles sur le distracteur « volume» à 7 ans [F(1, 48)= 45,96 ; CMe=0,020; p<.001] et à 9 ans [F(1, 48)= 99,42 ; CMe=0,020; p<.001]. Les fixations sur le distracteur « volume» sont plus

nombreuses que celles sur le distracteur « utilisation » à 7 ans [$F(1, 22) = 52,81$; $CMe=0,002$; $p<.001$] et 9 ans [$F(1, 48) = 94,90$; $CMe=0,002$; $p<.001$]. Les proportions de fixation sur les distracteurs « utilisation » et non relié ne diffèrent pas à 7 ans [$F(1, 48) = 2,96$; $CMe=0,001$; $p=.092$] ; mais diffèrent à 9 ans, celles sur le distracteur « utilisation » étant plus nombreuses [$F(1, 48) = 6,50$; $CMe=0,001$; $p=.014$]. Ainsi, bien que les patterns de fixations entre 7 et 9 ans soient similaires, seul le distracteur « volume » constitue un compétiteur tardif à 7 ans alors que les distracteurs « volume » et « utilisation » constituent des compétiteurs tardifs à 9 ans.

7.4. Discussion

Cette expérience, utilisant les stimuli des études 3 à 5 dans un paradigme d'exploration visuelle permet de préciser l'influence de l'entraînement sur la prise en compte des informations liées au volume ou à l'utilisation des objets. Plus précisément, nous avons analysé les patterns de fixations sur divers distracteurs et notamment sur les distracteurs « volume » et « utilisation » qui, inclus dans un même essai, permettent de comparer les effets relatifs à la perception d'objets préhensibles et ceux relatifs à l'influence de l'entraînement sensori-moteur.

Dans cette étude, l'association du paradigme entraînement - tâche catégorielle à l'enregistrement des mouvements oculaires nous permet d'étudier de manière précise l'influence potentielle de l'entraînement sur les patterns de fixations des enfants de 5, 7 et 9 ans avant la reconnaissance d'un objet cible. Nous avons conduit deux analyses permettant de mettre en évidence l'effet des distracteurs dès l'apparition de la cible ou plus tardivement dans la seconde moitié de la recherche.

De manière générale, les analyses portant sur les fixations précoces mettent en évidence une modulation du pattern de fixations par l'entraînement à 7 et à 9 ans, mais pas à 5 ans alors que les analyses portant sur les fixations plus tardives dessinent un pattern de fixations cohérent entre les différents âges. Cette asymétrie entre les fixations précoces et les fixations plus tardives suggère que lorsqu'il a lieu, l'effet de l'entraînement module les comportements de recherche visuelle dès l'apparition des stimuli. Ainsi, la correspondance entre les informations prises en compte lors de

l'entraînement et les informations disponibles visuellement lors du test utiliseraient des processus quasi automatiques et probablement implicites.

Les fixations précoces

En ce qui concerne l'effet de l'entraînement sur les fixations précoces, nous avons fait plusieurs prédictions concernant soit la correspondance entre affordances à la préhension portées par les sphères et par le distracteur « volume», soit la correspondance entre informations spécifiques à la manipulation (rendant le distracteur « utilisation » compétiteur de la cible après un entraînement « faire rouler » et le distracteur « volume» compétiteur de la cible après un entraînement « saisir à pleine main »), soit encore une influence conjointe des affordances et de l'entraînement. A 7 et 9 ans, les résultats sont en faveur de l'hypothèse d'une influence conjointe, mais différente en fonction de l'âge : seul l'entraînement « faire rouler » influence le pattern de fixations des enfants de 7 ans alors que seul l'entraînement « saisir à pleine main » influence le pattern de fixations des enfants de 9 ans.

L'attention visuelle des enfants de 5 ans est dirigée vers le distracteur « volume», indépendamment de l'entraînement réalisé au préalable, suggérant une sensibilité particulière à la détection de la similarité de volume. Cette influence ne différant pas entre les deux conditions d'entraînement, elle reflète vraisemblablement des processus précoces relatifs à la détection de la similarité de volume. En accord avec l'hypothèse d'une implication des systèmes perceptifs et moteurs lors de la reconnaissance des objets, cette influence pourrait témoigner d'une perception d'affordances des gestes de préhension. En effet, si l'on considère une activation automatique des affordances à la préhension (Tucker & Ellis, 2001), celles-ci seraient activées lors de la perception de la sphère dans les deux phases, l'entraînement et la recherche de cible. Il est important de noter que, si cette perspective suggère que tous les distracteurs affordent un geste de saisie, seul celui affordé par le distracteur « volume» (et la cible) correspond aux affordances activées lors de l'entraînement. Cette correspondance ferait du distracteur « volume» un compétiteur particulièrement efficace. Nous serions alors en présence d'un effet comparable aux effets d'amorçage par des images de main (e.g., Kalenine et al., 2009).

A 7 ans, l'entraînement « faire rouler » induit un pattern spécifique de fixations désignant les 2 distracteurs « volume » et « utilisation » comme compétiteurs de la cible. Ce pattern est associé à une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « utilisation » après l'entraînement « faire rouler » qu'après l'entraînement « saisir à pleine main ». Ainsi, les résultats à 7 ans suggèrent une correspondance entre informations d'utilisation expérimentées lors de la phase de manipulation et informations d'utilisation portées par le distracteur « utilisation », associée à une prise en compte de la similarité de volume. Cette influence de la similarité de volume après un geste de « faire rouler » pourrait témoigner de la prise en compte des informations relatives au volume de la sphère lors de l'entraînement, résultant de la perception automatiques d'affordance à la préhension, sans lien direct avec l'entraînement, comme chez les enfants de 5 ans. Cependant, la correspondance entre affordance à la préhension de la sphère et affordance à la préhension des distracteurs n'influence pas le pattern d'exploration visuelle après un entraînement « saisir ». Finalement, les informations liées au volume de la sphère semblent particulièrement importantes lorsque les enfants de 7 ans ont effectué un geste d'utilisation. Oakes et Madole (2008) proposent que chez les très jeunes enfants, l'élaboration de certaines propriétés liées à l'utilisation des objets (définies par les auteurs comme étant des propriétés fonctionnelles) repose sur la prise en compte de la corrélation entre forme et fonction. Chez l'adulte, Buxbaum et ses collaborateurs (Binkofski & Buxbaum, 2012; Buxbaum & Kalénine, 2010; Jax & Buxbaum, 2010) soutiennent l'idée que les informations fonctionnelles, liées à l'utilisation des objets, impliquent une activation conjointe des informations volumétriques liées à la préhension des objets et à l'utilisation des objets. Les résultats obtenus chez les enfants de 7 ans témoigneraient à la fois de la prise en compte de ces deux type d'information lors de l'entraînement (comme suggéré chez les très jeunes enfants) mais également de leur importance lors du traitement conceptuel (comme suggéré chez les adultes).

A 9 ans, seul l'entraînement « saisir à pleine main » induit un pattern de reconnaissance spécifique, en faveur du distracteur « volume ». Ce pattern, associé à une plus grande proportion de fixations sur le distracteur « volume » après

L'entraînement « saisir à pleine main » qu'après l'entraînement « faire rouler », suggère une correspondance entre informations volumétriques expérimentées lors de la manipulation et informations volumétriques portées par le distracteur « volume ». Les résultats à 9 ans ne nous permettent pas réellement de déterminer si la prise en compte de la similarité de volume est relative à la prise en compte d'affordances ou à un effet de l'entraînement sensori-moteur. D'ailleurs, ces deux informations ne sont pas forcément dissociables lors de l'entraînement puisque les informations liées aux affordances portées par la sphère sont celles prises en compte par la manipulation. Cependant, un effet *stricto sensu* de l'entraînement aurait dû induire un pattern de fixations en faveur du distracteur « utilisation » après l'entraînement « faire rouler ». Un effet *stricto sensu* de l'affordance aurait dû induire un pattern de fixations en faveur du distracteur « volume » après l'entraînement « faire rouler ». Ainsi, les effets observés semblent témoigner d'une influence conjointe de l'entraînement « saisir » et des affordances à la préhension.

Les fixations plus tardives

En ce qui concerne les fixations plus tardives, les enfants de 5 et 7 ans présentent un pattern de fixations similaire : bien que la cible soit majoritairement fixée, le distracteur « volume » constitue un compétiteur tardif de la cible et ce, indépendamment de l'entraînement. A 9 ans, les distracteurs « volume » et « utilisation » sont des compétiteurs de la cible, mais le distracteur « volume » reste le compétiteur privilégié. Les patterns d'exploration visuelle ne sont pas modulés par la condition d'entraînement. Il est donc probable que les patterns d'exploration tardifs témoignent d'une stratégie de regroupement au niveau de base par les propriétés représentatives du concept (i.e. des propriétés permettant de regrouper toutes les sphères manipulées). Le volume de l'objet constituerait donc l'indice privilégié des enfants, les informations relatives à l'utilisation n'étant intégrées au concept de sphère que par les enfants plus âgés. La prédominance des propriétés de volume pourrait être liée à leur prise en compte automatique par le biais d'affordances à la préhension, mais pourrait également s'expliquer par une habitude catégorielle de regroupement au niveau de base selon la forme globale des objets, la forme et le volume étant bien

souvent corrélés. Par ailleurs, il est possible que la similarité de volume constitue un indice particulièrement pertinent dans cette tâche du fait de la présentation visuelle des stimuli. En effet, certaines études réalisées chez les adultes attestent d'une modulation des effets d'affordance par le contexte de présentation des items (e.g., Girardi et al., 2010) ou la tâche (Pellicano et al., 2010). Notons que ces trois explications ne sont pas exclusives, les patterns observés reflétant sûrement l'influence conjointe des stratégies catégorielles des enfants et du contexte de présentation (impactant à la fois les affordances perçues et la demande expérimentale).

Finalement, les résultats issus de ces expériences mettent en évidence une modification des informations précocement nécessaires à l'identification de la cible avec l'âge. En effet, à 5 ans les enfants semblent se baser uniquement sur la similarité volumétrique, effet qui selon nous témoigne d'une influence des affordances perçues. Il semblerait que cette influence des affordances diminue avec l'âge. Elle viendrait soutenir l'identification de la cible lorsque la représentation conceptuelle de la sphère à identifier est liée à son utilisation à 7 ans et à sa saisie à 9 ans. Le conflit entre informations volumétriques et informations d'utilisation serait donc particulièrement difficile à résoudre pour les enfants de 7 ans. D'ailleurs, dans ce groupe d'âge, les explorations visuelles tardives suggèrent que la représentation conceptuelle de la cible n'implique que les propriétés liées au volume des objets. A 9 ans par contre, ce conflit semble avoir été dépassé, le pattern d'exploration tardive suggérant que les informations de volume et d'utilisation ont été intégrées à la représentation conceptuelle de la sphère. Les résultats présentés ici permettent donc de considérer la catégorisation au niveau de base comme un processus dynamique, se développant avec l'âge par intégration progressive des différentes propriétés des objets manipulés. L'influence de l'entraînement gestuel n'est pas aussi importante que le suggère les perspectives incarnées (Barsalou et al., 2007) et ne semble pas permettre la prise en compte exclusive de certaines propriétés. Cependant, l'entraînement semble soutenir les processus décisionnels relatifs à l'identification des exemplaires au niveau de base chez les enfants de 7 et 9 ans.

DISCUSSION GENERALE

L'objectif de ce travail consiste à fournir des éléments de compréhension quant à l'implication des systèmes sensoriels et moteurs dans les activités conceptuelles. Plus précisément, nous cherchons à évaluer dans quelle mesure des hypothèses formulées sur la base de théories et de résultats obtenus chez l'adulte pouvaient trouver une certaine validation chez l'enfant, et notamment une perspective incarnée des concepts. L'approche incarnée suppose, sans l'avoir réellement testé, que l'implication des systèmes sensoriels et moteurs dans les activités conceptuelles correspond à une re-création des configurations d'activations relatives aux épisodes de rencontre avec les objets. Les hypothèses formulées au préalable ont tenté de mettre en perspective les travaux chez l'enfant témoignant d'une prise en compte des informations visuelles et fonctionnelles avec ceux obtenus chez l'adulte, soulignant une implication spécifique de certaines actions sur le traitement conceptuel.

Après avoir évalué la pertinence d'appréhender le développement des connaissances conceptuelles selon une perspective incarnée (Etude 1 et 2), nous avons, dans cinq études, évalué l'influence d'un entraînement sensori-moteur sur la catégorisation d'objets présentant une des caractéristiques expérimentées lors de l'entraînement. Nous avons analysé les comportements catégoriels des enfants après des actions de saisie (« saisir à pleine main » dans les Études 3, 4, 5 et 7, « saisir à 2-3 doigts » dans l'Étude 6) ou actions d'utilisation (« faire rouler » dans les Etudes 3, 4, 5, et 7, « appuyer » dans l'Etude 6). Les tâches catégorielles impliquaient la catégorisation au niveau de base (Etude 7) et au niveau surordonné d'objets non réels inconnus des enfants (Etudes 3, 5 et 6) et la catégorisation au niveau surordonné d'objets de la vie quotidienne (Etude 4).

1. Synthèse des principaux résultats

L'étude 1 met en évidence un coût de transfert entre modalités sensori-motrices lors de la vérification de propriété visuelle et motrice, suggérant une implication du système visuel lors de la vérification de propriété visuelle des objets et une implication du système moteur lors de la vérification de propriété motrice et ce, à 7 ans. Cette étude appuie donc l'approche développementale incarnée des connaissances

conceptuelles. L'étude 2 en revanche n'a pas permis de préciser dans quelle mesure les propriétés relatives à la manipulation et à l'utilisation des objets pouvaient être activées de manière automatique. Les cinq études réalisées ensuite ont donc abordé la problématique de la cognition incarnée non plus sous l'angle d'une simulation des propriétés conceptuelles par les systèmes sensoriels et moteurs mais sous celui d'un ancrage des connaissances dans les activités sensori-motrices. En effet, si, comme le suggèrent les théories incarnées, la vérification des propriétés des objets implique les systèmes sensoriels et moteurs en jeu lors de la rencontre avec les objets, alors les situations d'interaction devraient permettre aux enfants de prendre en compte certaines propriétés spécifiques des objets.

Globalement, nos résultats indiquent une influence spécifique des actions de saisie sur les comportements catégoriels des enfants. Les enfants choisissent plus d'objets de même saisie que de saisie différente (i.e., de même utilisation) après les actions de saisie (« saisir à 2-3 doigts » ou « saisir à pleine main »). Cet effet concerne aussi bien la catégorisation au niveau surordonné d'objets familiers et d'objets inconnus que la catégorisation au niveau de base d'objets inconnus. Par contre, nous n'avons pas été en mesure de mettre en évidence une influence spécifique des actions d'utilisation sur les comportements catégoriels : seuls les enfants de 9 ans, ayant réalisé l'entraînement « faire rouler », choisissent majoritairement des objets de même utilisation (*vs.* de même volume). Dans toutes les autres expériences, les actions d'utilisation induisent des choix indifférenciés d'objets de même utilisation ou de même saisie.

Ces résultats n'appuient donc que partiellement les hypothèses d'un ancrage des connaissances dans les actions effectuées sur les objets. Ils permettent cependant d'apporter quelques précisions quant à l'interdépendance entre actions, perception et situations. De plus, l'approche développementale adoptée tout au long de ce travail permet de mettre les différents résultats en perspective, révélant une habileté grandissante des enfants à accorder leurs choix conceptuels aux entraînements sensori-moteurs.

2. Influence de l'entraînement sensori-moteur sur les conduites catégorielles

2.1. Hypothèse d'une simulation des propriétés visuelles et motrices

Selon la théorie des symboles perceptifs (Barsalou, 1999), à chaque rencontre avec l'objet, le système cognitif humain encode de manière distribuée les stimulations sensorielles et motrices issues de cette rencontre. Ces stimulations sensorielles et motrices ne seraient pas seulement impliquées lors de la perception de l'objet, mais constitueraient l'objet lui-même. Barsalou et ses collaborateurs (Barsalou, 1999, 2009; Solomon & Barsalou, 2004) proposent que l'implication du système moteur lors du traitement conceptuel soit consécutive à la réactivation (ou simulation) des configurations d'activation en jeu lors de la rencontre avec les objets. Les différentes caractéristiques des objets sont encodées de manière distribuée : les informations spécifiques à chaque modalité sont encodées par le système sensoriel responsable de sa perception (e.g., les informations visuelles sont encodées spécifiquement par le système visuel, les informations motrices par le système moteur). La réactivation de ces caractéristiques est également distribuée et implique les mêmes systèmes sensoriels et moteurs. Cette notion de réactivation des modalités sensori-motrices peut trouver un certain support dans la mise en évidence de circuits neuronaux spécifiquement activés lors du traitement d'images d'objet ou de noms d'objet (présentés visuellement ou auditivement), à connotation gustative (Simmons et al., 2005), olfactive (González et al., 2006) ou motrice (e.g., Chao, Haxby, & Martin, 1999 pour des résultats chez l'adulte; et Harman James & Maouene, 2009 pour des résultats chez l'enfant). De plus, cette re-création semble sous-tendre l'organisation des connaissances en mémoire. En effet, la similarité de taille (Ferrier et al., 2007), de couleur (Huettig & Altmann, 2011; Joseph & Proffitt, 1996), de forme (Pecher et al., 1998; Yee et al., 2011), ou de manipulation (Myung et al., 2006), entraîne une facilitation de traitement des stimuli partageant des caractéristiques communes. Encore plus démonstratives, les études rapportant un coût dû au transfert entre modalités sensorielles lors de la vérification de propriété démontrent que l'implication des différentes structures sensori-motrices est fonction de la connotation sensorielle ou motrice des propriétés vérifiées (Marques, 2006; Solomon

& Barsalou, 2004; van Dantzig et al., 2008). L'étude 1 démontre l'existence d'un coût de transfert de modalité. Elle suggère donc une implication des systèmes moteurs et visuels lors de l'accès aux propriétés visuelles et motrices des concepts dès 7 ans (Ambrosi et al., 2011).

L'accès aux connaissances conceptuelles impliquerait donc une re-création dans les systèmes sensoriels et moteurs des propriétés perçues des objets. Autrement dit, comme proposé par la théorie des symboles perceptifs, certaines informations sont réactivées parce qu'elles ont été encodées lors de la rencontre avec l'objet. Dans nos recherches, les patterns de résultats montrant que les actions de saisie favorisent les choix d'objets de même saisie (par rapport aux objets de même utilisation) (Etude 3 à 9 ans ; Etude 4 dès 5 ans ; Etude 6 à 5 et 7 ans ; Etude 7 à 5 et 9 ans) et ceux montrant que les actions d'utilisation favorisent les choix d'objets de même utilisation (par rapport aux objets de même saisie) (Etude 3 à 9 ans) constituent des arguments nouveaux en faveur de l'hypothèse d'un ancrage des connaissances dans les actions réalisées sur l'environnement.

2.2. Influence des entraînements sensori-moteurs

L'influence des actions de saisie (« saisir à pleine main » ou « saisir à 2-3 doigts ») sur les conduites catégorielles des enfants se traduit par des choix majoritaires d'objets de même saisie. Ceci suggère tout d'abord la prise en compte, lors de la phase d'entraînement, des propriétés spécifiques relatives à la saisie des objets. Ce résultat fait écho aux effets d'amorçage par des images de main en position de saisie. Par exemple, la dénomination ou la catégorisation d'images ou de noms d'objet manipulable est facilitée par la présentation en amorces d'images de main en position de saisie compatible avec la saisie potentielle de ces objets (Borghi et al., 2007; Kalenine et al., 2009). Le traitement des concepts d'objet manipulable impliquerait ainsi une réactivation des informations relatives à la préhension des objets (e.g., Setti et al., 2009). Cette réactivation des informations motrices lors de la perception des objets manipulables pourrait également être à l'œuvre dans nos études. Si cette explication illustre parfaitement les conduites observées lorsque les enfants catégorisent les objets

de la vie quotidienne, il semble difficile de concevoir une réactivation des informations de saisie (encodées lors des interactions passées avec les objets) lors de la catégorisation des objets inconnus. En effet, les enfants n'ont jamais eu d'interaction avec les objets inconnus qu'ils choisissent. Il semble donc plus probable, au moins dans les études 3, 5, 6, et 7, que leurs choix catégoriels reflètent la détection de propriétés expérimentées lors de l'entraînement. Certains résultats chez l'adulte montrent que, lors de la préhension, les informations structurales des objets saisis (telles que le volume ou la taille) sont automatiquement activées (Bub et al., 2008; Jax & Buxbaum, 2010). Dans nos expériences, l'entraînement « saisir à pleine main » pourrait également permettre la prise en compte de la taille et/ou du volume des sphères. Ces informations de taille ou de volume, consécutives aux actions de préhension, orienteraient alors les choix des enfants vers la détection d'objets de même volume, comme c'est le cas dans les Etudes 3, 4, 5 et 7. Cependant, la présence de la similarité de volume ne semble pas une condition nécessaire au choix d'objets de même saisie. En effet, dans l'étude 6, dans laquelle nous avons sélectionné des objets à catégoriser de taille, de volume et de couleurs différents, les objets de même saisie sont majoritairement choisis alors même qu'ils ne partagent pas de propriétés structurales avec les objets de l'entraînement. Finalement, l'influence des actions de saisie sur les choix d'objets de « même volume » serait liée à la prise en compte du volume des objets, par le biais de l'action.

Les actions d'utilisation ne semblent pas particulièrement influencer les conduites catégorielles des enfants. En effet, seuls les enfants de 9 ans ayant réalisé un entraînement « faire rouler » choisissent majoritairement des objets de « même utilisation » (Etude 3). Cependant, dans toutes les autres études, les actions d'utilisation induisent des choix d'objets de « même utilisation », mais ces choix ne sont pas majoritaires : après les actions d'utilisation les enfants choisissent au moins autant (Etude 3 et 4) si ce n'est plus (Etude 6) d'objets de « même saisie » que d'objets de « même utilisation ». Les informations liées à la saisie et celles liées à l'utilisation seraient toutes deux prises en compte lors des actions d'utilisation. Bien que nous observions cette prise en compte d'information de saisie et d'utilisation dans toutes nos expériences, ce résultat trouve peu de validation dans les travaux d'autres auteurs.

En effet, les informations liées à l'utilisation des objets semblent être évoquées grâce à la présentation de mimes d'utilisation dès 7 ans (Mounoud et al., 2007) et les entraînements à utiliser les objets semblent permettre aux adultes de prendre en compte des propriétés spécifiques à ces objets (Bellebaum et al., 2012; Kiefer et al., 2007; Weisberg et al., 2007). Cependant, peu d'études contrastent la prise en compte d'informations structurales (liées à la préhension) avec celle d'informations d'utilisation (Binkofski & Buxbaum, 2012; Jax & Buxbaum, 2010). Dans ces deux études, le traitement des informations relatives à l'utilisation des objets est consécutif au traitement des informations de préhension. Cela entraîne une difficulté particulière de traitement de la similarité d'utilisation. De façon comparable, dans notre étude 6, il faut plus de temps pour choisir des objets de même utilisation que des objets de même volume après l'entraînement « appuyer ». D'après Jax et Buxbaum (2010), ces temps de traitement plus longs reflètent un conflit entre informations liées à la préhension et informations liées à l'utilisation. Or, dans nos expériences, les informations prises en compte par l'action concernent uniquement l'utilisation (ou la saisie dans le cas des actions de saisie) mais jamais conjointement l'utilisation et la saisie. Tout se passe comme si, lors des actions d'utilisation, le geste de saisie était automatiquement activé alors même que les enfants ne le réalisent pas.

2.3. La prise en compte automatique des informations de préhension

L'interprétation des résultats en fonction des informations résultant des entraînements ne permet que partiellement de rendre compte des comportements catégoriels des enfants. En particulier, les enfants semblent prendre en compte des propriétés liées à la saisie des objets alors même qu'ils ne les ont pas saisis. Une possibilité est de considérer que la perception d'objets de même volume induit une réactivation automatique des gestes de préhension. Les travaux rapportant des effets de compatibilité entre actions effectuées pour répondre et taille ou orientation des objets (Ellis & Tucker, 2000; Tucker & Ellis, 2001, 2004) le démontrent dès la perception des objets. Cette prise en compte automatique facilite l'exécution motrice compatible. Par exemple, la vision de petits objets facilite l'exécution d'un geste de saisie pince fine

alors que la vision de plus gros objets facilite l'exécution de la saisie à pleine main (Tucker & Ellis, 2001). Il semble donc que cette simulation des gestes de saisie soit relativement précise. Dans nos expériences, une telle simulation conduirait à prendre en compte des informations de saisie lors de l'entraînement par la simple vision de l'objet à manipuler (i.e., affordances). Lorsque les objets à manipuler ont un volume constant (e.g., les sphères dans les études 3, 4, 5 et 7, la partie trapézoïdale dans l'étude 6), ces affordances à la préhension viendraient s'ajouter aux informations motrices. Dans le cas des actions de saisie, les informations motrices et les affordances perçues sont redondantes alors que dans le cas des actions d'utilisation, elles véhiculent des informations différentes. La non-équivalence des actions de saisie et d'utilisation pourrait être imputable à une non équivalence des informations prises en compte lors de l'entraînement.

Ainsi, l'hypothèse de la perception automatique d'affordances à la préhension lors de l'entraînement permet de donner une cohérence aux résultats observés. Cependant, si les affordances sont perçues de manière automatique, elles devraient aussi être perçues sur les objets présentés en test. Ainsi, en test, les objets de « même saisie » (i.e., objets de « même volume » ou de « même saisie » uniquement dans l'étude 6) seraient porteurs d'affordances compatibles avec les informations issues de la manipulation préalable (i.e. informations motrices) et avec les affordances perçues lors des actions de saisie et d'utilisation (i.e. informations perçues visuellement). En revanche, les objets de « même utilisation » (i.e., objets pouvant rouler et objets appuyables) seraient porteurs d'affordances à la préhension non compatibles avec les affordances perçues lors des entraînements.

Finalement, l'hypothèse *stricto sensu* d'une influence des affordances ne permet pas de rendre compte des comportements catégoriels des enfants dans leur globalité. En effet, l'hypothèse d'une affordance des gestes de préhension impliquerait que les objets de même volume soient plus fréquemment choisis après un geste de saisie qu'après un geste d'utilisation mais que les objets de même utilisation soient moins souvent choisis que les objets de même saisie. Or, le constat d'un traitement privilégié des objets de « même saisie » s'illustre dans l'étude 6 par une facilité de leur traitement

indépendamment de l'entraînement effectué (i.e. « saisir pince fine » et « appuyer » dans cette étude-ci) et par une majorité de choix d'objets « même saisie » après un entraînement « appuyer ». De plus, cette facilité de traitement ne semble imputable qu'à la possibilité d'effectuer le geste, non à une facilité de traitement intrinsèque des objets « même saisie » (ils sont jugés comme étant aussi complexes visuellement que les autres stimuli), ni à une cooccurrence constante entre forme et préhension (tous les stimuli possèdent une large base et une partie trapézoïdale).

2.4. Influence conjointe de la manipulation et des affordances

Nous venons de suggérer que les affordances à la préhension expliquent de manière cohérente pourquoi les enfants choisissent des objets de « même saisie » après des actions d'utilisation. La perception des affordances pourrait également expliquer les choix d'objets de « même saisie » après les actions de saisie. Cependant, si seules les affordances perçues influent sur les choix des objets de « même saisie », ces derniers devraient être autant choisis après une action de saisie qu'après une action d'utilisation. Or, on observe systématiquement des choix majoritaires en faveur des objets de « même saisie » après des actions de saisie, et non après les actions d'utilisation. De plus, les choix d'objets de « même utilisation » après les actions d'utilisation ne peuvent être expliqués par les affordances à la préhension. Seules les informations motrices tirées des actions d'utilisation le permettent. Finalement, les choix majoritaires des enfants seraient liés à l'influence conjointe des informations motrices relatives à la manipulation et de la perception des affordances à la préhension. L'étude 7, qui permet d'évaluer *a priori* la part relative des affordances et des entraînements grâce à l'analyse des mouvements oculaires, suggère que les performances catégorielles sont imputables à la fois à un traitement privilégié des objets de « même volume » et à une influence des entraînements (i.e. « saisir à pleine main » et « faire rouler »).

De plus, cette étude montre que les effets de l'entraînement sont précoces, avant 400 ms chez les 7 et 9 ans, avant 800 ms chez les 5 ans. Cela suggère une influence des affordances et des propriétés motrices dès l'apparition des stimuli. Cette influence

précoce chez les enfants peut faire écho à l'observation en EEG, chez les adultes, d'un pattern neuronal témoignant d'une préparation à l'exécution du geste de saisie juste après (entre 150-200 ms) la présentation visuelle d'un stimuli (Goslin et al., 2012). De même, l'écoute de verbe d'action induit une activation très précoce (150-200 ms) des aires motrices, avant les effets lexico-sémantiques, suggérant que l'implication des aires motrices est nécessaire à l'élaboration de la signification (e.g., Hauk et al., 2008). Même si les données oculométriques suggèrent à une implication précoce des informations motrices, les études comportementales ne permettent pas d'évaluer un tel décours temporel.

3. Perspectives développementales

3.1. Des choix catégoriels variables avec l'âge

Ainsi, les résultats semblent refléter l'influence conjointe de la manipulation et des affordances perçues, ce qui permet de comprendre de façon cohérente comment, dans nos études la situation d'entraînement module les choix d'objets. La modulation de ces effets par l'âge est plus difficile à expliquer. Cependant, on peut considérer à la suite de l'Étude 7 : a) que la supériorité des choix d'objets de « même volume » indépendamment de l'entraînement reflète la seule prise en compte des affordances à la préhension ; b) que l'équivalence des choix entre les objets de « même volume » et ceux de « même utilisation » après un entraînement « faire rouler », associée à des choix plus nombreux des objets « de même utilisation » après l'entraînement « faire rouler » que « saisir à pleine main », reflète la prise en compte à la fois des informations d'utilisation liées à la manipulation et des affordances à la préhension ; c) que la supériorité des choix d'objets de « même volume » consécutivement à un entraînement « saisir à pleine main » reflète la prise en compte des informations de saisie liées à la manipulation et/ou aux affordances .

Selon ce raisonnement, dans l'étude 3, les choix d'objets non réels des enfants de 9 ans reflètent la prise en compte des informations d'utilisation liées à la manipulation et des affordances à la préhension, après un entraînement « faire rouler » et la prise en

compte des informations de saisie liées à la manipulation et/ou aux affordances, après un entraînement « saisir à pleine main ». Dans l'étude 4, les choix d'objets réels reflètent dès l'âge de 5 ans la seule prise en compte des affordances à la préhension, indépendamment de l'entraînement réalisé. Enfin, en ce qui concerne l'étude 7, l'identification des cibles semble impliquer pour les enfants de 5 ans la prise en compte des affordances à la préhension indépendamment de l'entraînement, mais à 7 ans, celle des informations d'utilisation liées à la manipulation et des affordances à la préhension, seulement après l'entraînement « faire rouler »; enfin, à 9 ans, l'identification dépendrait des informations de saisie liées à la manipulation et/ou aux affordances, consécutivement à un entraînement à la saisie. Dans l'étude 6, la difficulté de traitement des objets appuyables par les enfants de 5 et 7 ans peut refléter leur difficulté à traiter des objets ne présentant pas d'affordances particulières.

3.2. Difficulté de traitement des objets de même « utilisation » et la notion d'objets fabriqués

Ces interprétations témoignent selon nous d'une prise en compte des propriétés de manipulation qui se construit avec l'âge. En effet, les enfants de 5 ans semblent se baser uniquement sur la similarité de volume, effet qui selon nous témoigne d'une influence des affordances perçues. Cependant, cette influence semble diminuer ensuite. Elle pourrait alors, à 9 ans, sous-tendre la prise en compte de propriétés en lien avec la manipulation, en particulier après une geste « saisir » et après un geste de « faire rouler ». Notons que selon notre interprétation, l'information de saisie induirait un conflit pour les objets de même utilisation. L'analyse des mouvements oculaires suggère que ce conflit entre informations volumétriques et informations d'utilisation serait particulièrement difficile à résoudre pour les enfants de 7 ans. D'ailleurs, dans ce groupe d'âge, les explorations visuelles tardives suggèrent que la représentation conceptuelle de la cible n'implique que les propriétés liées au volume des objets. A 9 ans par contre, ce conflit semble avoir été dépassé, le pattern d'exploration tardive suggérant que les informations de volume et d'utilisation ont été intégrées à la représentation conceptuelle de la sphère.

D'un point de vue développemental, le traitement spécifique de la similarité d'utilisation après l'entraînement « faire rouler » pourrait être acquis plus tardivement que celui de la similarité de volume après l'entraînement « saisir à pleine main ». En outre, la difficulté de traitement de la similarité d'utilisation pourrait refléter notamment une difficulté à intégrer et organiser les informations volumétriques (liées aux affordances) avec les informations d'utilisation, toutes deux issues de l'entraînement « faire rouler ». Cette difficulté pourrait également être liée au fait que nous demandons aux enfants de choisir des exemplaires pouvant être inclus dans une catégorie, c'est-à-dire d'effectuer des regroupements taxonomiques.

Or, il semble que l'indice préférentiel des regroupements taxonomiques chez les enfants soit de nature visuelle (Kalenine & Bonthoux, 2006). Cette suggestion doit cependant être nuancée par les données issues des études sur la construction des catégories d'objets fabriqués. En effet, certains résultats mettent en évidence une prépondérance des informations fonctionnelles dans la catégorisation des objets fabriqués (Booth, Schuler, & Zajicek, 2010; Booth & Waxman, 2002; Diesendruck, Markson et al., 2003; Kemler Nelson, Frankenfield et al., 2000). Par exemple, démontrer l'utilisation d'un objet favorise la généralisation du nom de cet objet à de nouveaux exemplaires (Kemler Nelson, Russell et al., 2000). Plus en lien avec notre propos, la facilitation de traitement des objets fabriqués semble liée à la détection d'indices fonctionnels/contextuels et d'indices perceptifs (Kalenine & Bonthoux, 2006), la présence des deux indices étant plus favorable à la catégorisation taxonomique (Scheuner & Bonthoux, 2004). De plus chez l'adulte, les expériences qui utilisent un paradigme d'entraînement à l'utilisation des objets indiquent que les patterns d'activations neuronales consécutifs à l'utilisation des objets impliquent les circuits activés lors de la reconnaissance ou de la manipulation d'outils (e.g., Bellebaum et al., 2012; Kiefer et al., 2007). Ceci suggère que le fait d'utiliser des objets permet aux adultes de les considérer comme des outils. Il est possible que le même type de processus soit à l'œuvre chez les enfants dans nos expériences.

Une limitation cependant à cette interprétation est que les propriétés fonctionnelles dans ces études sont très diverses (Oakes & Madole, 2008) et ne

représentent pas toujours la même notion que dans nos expériences. Finalement la prise en compte des propriétés d'utilisation pourrait induire un statut particulier aux objets manipulés, variable selon l'action effectuée au préalable.

3.3. Prise en compte des affordances chez les plus jeunes enfants

Un dernier point se doit d'être clarifié. Nous avons argumenté tout au long de cette discussion que les informations liées à la saisie des objets étaient prises en compte par le biais d'affordances à la préhension. Si de nombreuses études chez l'adulte indiquent effectivement que la perception d'affordances ou la potentialité pour l'action régit de nombreuses activités tant motrices que langagières ou conceptuelles, il est plus rare de les observer chez l'enfant. Dans nos études, la prise en compte des affordances semble être le propre des jeunes enfants. Ensuite, le passage d'une prise en compte des seules affordances à celle, conjointe, des affordances et des informations motrices, se ferait graduellement, à des âges variables selon la difficulté de la tâche. Gelaes et Thibaut (2006) ont d'ailleurs montré qu'entre 3 et 5 ans, les enfants se détache progressivement de la similarité globale des objets au profit de similarité liées à la fonction ou utilisation des objets. Chez les bébés, l'équipe de Oakes, Madole et collaborateurs ont montré à plusieurs reprises et à différents âge que la similarité d'apparence constituait un indice pris en compte plus précocement que la similarité de fonction (Madole & Cohen, 1995; Madole & Oakes, 1999; Madole et al., 1993; Oakes & Madole, 2008; Oakes, Plumert, Lansink, & Merryman, 1996), les bébés les plus âgés étant capables d'intégrer les différentes caractéristiques des objets. De plus, ce pattern d'acquisition ne semble pas stable, la difficulté de la tâche engendrant des patterns d'acquisition différents.

D'un point de vue théorique, il est possible que l'ancrage sensori-moteur des conduites catégorielles soit plus bénéfique aux jeunes enfants (Arbib, 2008). Arbib (2008) propose de considérer les informations sensori-motrices comme constitutives d'un schéma de rencontre avec les objets. Ces caractéristiques seraient nécessaires à la construction des premières catégories, permettant de dissocier les différents objets en termes d'actions potentielles. Puis, au fur et à mesure de l'enrichissement des

catégories, cette caractéristique serait délaissée au profit de caractéristiques plus spécifiques des objets. Cette position, qui n'est pas sans rappeler le positionnement de Nelson (2000; voir également Piaget, 1952) quant au rôle central mais précoce des actions dans l'élaboration des représentations conceptuelles, permet de reconsidérer le lien entre actions et perception dans le développement de l'enfant.

En effet, si nos résultats ne permettent pas d'apporter des arguments en faveur des hypothèses de la cognition incarnée, ils mettent en évidence une influence réciproque de la perception et de l'action dans l'attribution catégorielle de nouveaux objets. Ceci rappelle le cadre très large des modèles des dynamiques et suggère que les construits catégoriels ne sont que le résultat d'une adaptation du système cognitif aux variations de l'environnement. La difficulté temporaire à intégrer les informations consécutives à la manipulation et la perception d'affordances pourrait alors être envisagée comme une période d'instabilité du système. Les résultats mettent également en évidence une certaine variabilité dans les processus catégoriels en fonction de l'âge et des contraintes situationnelles (i.e., l'entraînement et le type d'objet à catégoriser). Ceci constitue un argument en faveur d'une approche pluraliste du développement des catégories (Lautrey, 2003), montrant que deux processus au moins participent à l'élaboration des concepts d'objet fabriqué (prise en compte de l'utilisation et prise en compte du volume).

4. Limitations des études et perspectives de recherches

4.1. Catégorisation taxonomique au niveau de base et au niveau surordonné

L'étude 7 conforte l'hypothèse d'une influence conjointe de la manipulation et des affordances, qu'elle est d'ailleurs la seule à tester *a priori*. Cette étude cependant utilise une tâche de catégorisation au niveau de base. Or, la perception des affordances chez les enfants semble être plus influente lorsqu'il s'agit de regrouper des éléments au niveau de base qu'au niveau surordonné (Kalenine et al., 2009). Il serait intéressant de pouvoir utiliser un paradigme comparable pour tester dans quelle mesure les

comportements catégoriels des enfants dans les tâches précédentes reflètent effectivement l'influence conjointe de différents types de manipulation.

De même, il semble important de pouvoir évaluer dans quelle mesure l'influence conjointe est liée à la présentation, dans un même essai, de distracteurs portant des informations différentes. En effet chez l'adulte, quelques résultats récents tendent à montrer que l'influence des affordances perçues est modulée par le contexte d'apparition des objets et par la tâche (Yoon et al., 2010). Dans cette étude, les auteurs ont montré que la présentation simultanée de deux objets fonctionnellement reliés (e.g., une spatule et une poêle) favorise la prise en compte d'affordances liées à la préhension d'un des objets, celui que l'on utilise en premier (e.g., la spatule), l'influence de ces affordances étant encore plus importante lorsqu'une photographie de main en position de saisie est ajoutée au dessus de cet objet. De même, plusieurs études montrent une modulation des effets d'affordance en fonction de la tâche, suggérant que ceux-ci dépendent de la demande expérimentale (Pellicano et al., 2010; Symes et al., 2007). Il est fort probable que dans notre expérience les modalités de la tâche catégorielle favorisent l'émergence des affordances.

Ainsi, nos résultats permettent de proposer que l'influence de l'action sur les conduites catégorielles des enfants reflète à la fois la prise en compte d'affordances et la prise en compte de la manipulation, sans réellement le tester. Or, en se basant sur les recherches récentes, il serait possible de majorer ou de diminuer l'influence des affordances, ce qui permettrait d'évaluer dans quelle mesure les informations motrices consécutives aux entraînements peuvent être modulées par la force des affordances. Ceci permettrait notamment de préciser la nature des informations prises en compte par les enfants de 9 ans dans nos études. En effet, nous ne pouvons pas, sur la base de nos résultats, décider si leurs choix reflètent une influence des affordances, de l'entraînement ou des deux. Symétriquement, nous ne sommes pas en mesure de statuer sur les informations en jeu lors de la catégorisation des objets réels. Les choix majoritaires d'objets de même volume reflètent-ils une prise en compte des affordances ou de la similarité visuelle ? Est-ce inhérent à tous les objets réels, au geste que nous avons utilisé ?

4.2. Validité des gestes d'utilisation

Les gestes d'utilisation et les gestes de préhension sont dans la vie courante souvent liés l'un à l'autre. Il est rare de prendre un objet sans but ; de même, il est rare d'utiliser un objet sans l'avoir saisi auparavant. Cependant, il semble qu'il y ait une inégalité entre les deux propositions : le même geste de saisie va pouvoir être utilisé sur différents objets (e.g. saisir un briquet, un surligneur) alors que l'utilisation consécutive à la saisie va dépendre de l'objet et va pouvoir entraîner des actions très différentes (e.g. tourner la molette du briquet, surligner avec un surligneur). Les caractéristiques d'utilisation et de préhension des objets n'auraient donc pas le même statut. Ce statut différent entraînerait également une différence de fréquence de réalisation, les gestes de saisie paraissant plus fréquents que les gestes d'utilisation de manière globale. Cependant, la fréquence d'utilisation spécifique d'un objet (e.g. pianoter sur un piano, boire dans une tasse de café, surligner avec un stylo) paraît au moins équivalente à sa saisie, sinon plus (dans le cas des objets manipulables mais non préhensibles, e.g., un piano). Les actions utilisées dans nos expériences peuvent être considérées comme spécifiques : appuyer et faire rouler sont spécifiques de certains objets, par exemple les interrupteurs ou les boules de pétanque. De plus, dans le contexte de l'entraînement sur des objets nouveaux, les actions d'utilisation sont dénuées de leur objectif ; il est alors possible que ce manque de cohésion entre action d'utilisation et résultats de l'action défavorise la prise en compte des propriétés relatives à l'utilisation au profit de la prise en compte des propriétés liées aux affordances. De plus, nous avons suggéré que l'utilisation des objets puisse permettre de les définir comme des outils. Mais la notion d'outil reste bien souvent liée à l'intention d'utiliser les objets dans un but précis (Asher & Kemler Nelson, 2008; Witt, Proffitt, & Epstein, 2005). Or, dans nos expériences, ni la fréquence d'exécution des gestes, ni la notion de but n'a été clairement définie au départ.

4.3. Contrôler la similarité visuelle

Finalement, il semble nécessaire de contrôler voire de neutraliser la similarité volumétrique des objets. En effet, même si l'on admet la correspondance entre volume et saisie, il n'en reste pas moins qu'une stratégie de détection du volume perçue visuellement entraînerait des choix des objets de « même volume » majoritaires après l'entraînement « saisir » et aussi nombreux que les choix d'objets de même utilisation après l'entraînement « faire rouler ». Parmi d'autres éléments, dans les études 3, 4 et 7, la similarité de saisie entre les sphères manipulées et les objets présentés en test est confondue avec une similarité de volume. Si cette confusion était initialement dirigée par un parti pris méthodologique consécutif à certains travaux chez l'adulte (e.g., Borghi, 2004), elle ne nous permet pas de différencier ce qui, de la similarité de volume (i.e., liées aux propriétés visuelles ou de forme globale) ou de la similarité de saisie (i.e., liée à l'entraînement sensori-moteur) influence les choix catégoriels des objets.

Compte tenu que la similarité visuelle entre les exemplaires régit les liens catégoriels entre les objets (Rosch, 1978) et que les enfants présentent dès leur plus jeunes âge une propension à détecter la similarité visuelle (e.g. Quinn, 2004; Quinn et al., 2010; Quinn, Johnson, Mareschal, Rakison, & Younger, 2000), la prédominance des choix d'objets de « même saisie » pourrait dépendre uniquement de la similarité visuelle. En effet, les résultats de l'étude 5, indiquent qu'en l'absence de vision, les choix des enfants de 9 ans ne sont plus modulés par la condition d'entraînement. En accord avec l'hypothèse d'une influence unique de la similarité visuelle, ceci suggère que, lorsque la similarité visuelle est rendue caduque, les enfants ne sont plus à même d'inclure de nouveaux exemplaires dans la catégorie des objets manipulés. Cependant, les résultats de l'étude 5, pourraient suggérer que ce ne sont pas uniquement les informations motrices mais bien la situation d'interaction dans son ensemble qui affecte les processus catégoriels des enfants. Nos observations ne permettant pas de prendre position en faveur des affordances ou de la similarité, il semble important d'étudier plus précisément la relation entre similarité visuelle et perception d'affordance.

CONCLUSION

En ayant cherché à mettre en évidence le rôle de l'action sur la prise en compte de propriétés liées à la saisie ou à l'utilisation des objets, ce travail a permis d'apporter de nouvelles pistes quant à l'interdépendance entre actions, perception et situation. Les résultats exposés soutiennent une influence différenciée des entraînements à la saisie et à l'utilisation sur la prise en compte de propriétés relatives à l'exécution de ces gestes. Ils suggèrent que cette influence dépend de la pondération des informations motrices liées à la manipulation des objets et des informations perceptives consécutives à la perception d'affordances à la préhension. Ainsi, ils soulignent l'importance de considérer les connaissances conceptuelles comme un processus dynamique, dépendant de facteurs multiples inhérents à la situation, l'individu et aux caractéristiques des stimuli.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahn, W. (1998). Why are different features central for natural kinds and artifacts?: The role of causal status in determining feature centrality. *Cognition*, 69(135 - 178).
- Ahn, W., Gelman, S. A., Amsterlaw, J. A., Hohenstein, J., & Kalish, C. W. (2000). Causal status effect in children's categorization. *Cognition*, 76, B35-43.
- Altmann, G. T. M., & Kamide, Y. (2004). Now you see it, now you don't: Mediating the mapping between language and the visual world. In J. M. Henderson & F. Ferreira (Eds.), *The interface of language, vision, and action: Eye movements and the visual world* (pp. 313-345). New York, NY: Psychology Press.
- Ambrosi, S., Kalenine, S., Blaye, A., & Bonthoux, F. (2011). Modality switching cost during property verification task by 7 years of age. *International Journal of Behavioral Development*, 35(1), 78-83.
- Arbib, M. A. (2008). From grasp to language: embodied concepts and the challenge of abstraction. *Journal of Physiology Paris*, 102(1-3), 4-20.
- Arias-Trejo, N., & Plunkett, K. (2010). The effects of perceptual similarity and category membership on early word-referent identification. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 63-80.
- Arterberry, M. E., & Bornstein, M. H. (2002a). Infant perceptual and conceptual categorization: the roles of static and dynamic stimulus attributes. *Cognition*, 86(1), 1-24.
- Arterberry, M. E., & Bornstein, M. H. (2002b). Variability and its sources in infant categorization. *Infant Behavior and Development*, 25(4), 515-528.
- Asher, Y. M., & Kemler Nelson, D. G. (2008). Was it designed to do that? Children's focus on intended function in their conceptualization of artifacts. *Cognition*, 106(1), 474-483.
- 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.
- Backsheider, A. G., Shatz, M., & Gelman, S. A. (1983). Preschooler's ability to distinguish living kinds as function of regrowth. *Child Development*, 64(1242 - 1257).
- Baldwin, D. A. (1992). Clarifying the role of shape in children's taxonomic assumption. *Journal of Experimental Child Psychology*, 54, 392-416.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577-609.
- Barsalou, L. W. (2003a). Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biological Science*, 358(1435), 1177-1187.
- Barsalou, L. W. (2003b). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes*, 18(5-6), 513-562.
- Barsalou, L. W. (2005a). Abstraction as dynamic interpretation in perceptual symbol system. In L. Gershkoff-Stowe & D. Rakinson (Eds.), *Building object categories* (pp. 389-431). Mahwah, N.J.: Erlbaum.
- Barsalou, L. W. (2005b). Situated conceptualization. In H. Cohen & C. Lefebvre (Eds.), *Handbook of categorization in cognitive science* (pp. 619-650). Amsterdam: Elsevier.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Barsalou, L. W. (2009). Simulation, situated conceptualization, and prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1281-1289.
- Barsalou, L. W., Breazal, C., & Smith, L. B. (2007). Cognition as coordinating non-cognition. *Cognitive Processing*, 8(2), 79-91.
- Barsalou, L. W., Pecher, D., Zeelenberg, R., Simmons, W. K., & Hamann, S. B. (2005). Multimodal simulation in conceptual processing In W. K. Ahn, R. L. Goldstone, B. C. Love, A. B. Markman & P. Wolff (Eds.), *Categorization Inside and Outside the Laboratory: Essays in Honor of Douglas L. Medin*. (pp. 249-270): American Psychological Association.
- 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.
- Bauer, P. J., Dow, G. A., & Hertsgaard, L. A. (1995). Effects of prototypicality on categorization in 1- to 2-year-olds: Getting down to basic. *Cognitive Development*, 10(1), 43-68.
-

- Bauer, P. J., & Mandler, J. M. (1989). Taxonomies and triads: Conceptual organization in one-to-two-year-olds. *Cognitive Psychology*, *21*, 156 - 184.
- Beauchamp, M., & Martin, A. (2007). Grounding object concepts in perception and action: Evidence from fMRI studies of tools. *Cortex*, *43*(3), 461-468.
- Behl-Chadha, G. (1996). Basic-level and superordinate-like categorical representations in early infancy. *Cognition*, *60*(2), 105-141.
- Bellebaum, C., Tettamanti, M., Marchetta, E., Della Rosa, P., Rizzo, G., Daum, I., et al. (2012). Neural representations of unfamiliar objects are modulated by sensorimotor experience. *Cortex*, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945212001207> (0).
- Bergen, B. K., Lindsay, S., Matlock, T., & Narayanan, S. (2007). Spatial and Linguistic Aspects of Visual Imagery in Sentence Comprehension. *Cognitive Science*, *31*(5), 733-764.
- Berger, C., & Aguerra, E. (2010). Dynamic categorization and slot-filler representation in 4- and 6-year-old children. *International Journal of Psychology*, *45*(2), 81-89.
- Binkofski, F., & Buxbaum, L. J. (2012). Two action systems in the human brain. *Brain and Language*, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0093934X12001393> (0).
- Blair, M., & Somerville, S. C. (2009). The importance of differentiation in young children's acquisition of expertise. *Cognition*, *112*(2), 259-280.
- Blaye, A., Bernard-Peyron, V., & Bonthoux, F. Au delà des conduites de catégorisation: Le développement des représentations catégorielles entre 5 et 9 ans. . *Archives de Psychologie*, *68*, 59-82.
- Blaye, A., Bernard-Peyron, V., Paour, J. L., & Bonthoux, F. (2006). Categorical flexibility in children: Distinguishing response flexibility from conceptual flexibility; the protracted development of taxonomic representations. *European Journal of Developmental Psychology*, *3*(2), 163-188.
- Blaye, A., & Bonthoux, F. (2001). Thematic and taxonomic relations in preschoolers: The development of flexibility in categorization choices. *British Journal of Developmental Psychology*, *19*(3), 395-412.
- Blaye, A., & Jacques, S. (2009). Categorical flexibility in preschoolers: contributions of conceptual knowledge and executive control. *Developmental Science*, *12*(6), 863-873.
- Bloom, P. (1996). Intention, history, and artifact concepts. *Cognition*, *60*, 1-29.
- Bonini, L., Rozzi, S., Serventi, F. U., Simone, L., Ferrari, P. F., & Fogassi, L. (2010). Ventral Premotor and Inferior Parietal Cortices Make Distinct Contribution to Action Organization and Intention Understanding. *Cerebral Cortex*, *20*(6), 1372-1385.
- Bonthoux, F., Berger, C., & Blaye, A. (2004). *Naissance et développement des concepts chez l'enfant : catégoriser pour comprendre*. paris: Dunod.
- Bonthoux, F., & Kalenine, S. (2007). Preschoolers' superordinate taxonomic categorization as a function of individual processing of visual vs. contextual/functional information and object domain. *Cognition Brain Behavior*, *11*(Special Issue on the Development of Categorization), 713-731.
- Booth, A. E., Schuler, K., & Zajicek, R. (2010). Specifying the role of function in infant categorization. *Infant Behavior and Development*, *33*(4), 672-684.
- Booth, A. E., & Waxman, S. R. (2002). Object names and object functions serve as cues to categories for infants. *Developmental Psychology*, *38*(6), 948-957.
- Booth, A. E., Waxman, S. R., & Huang, Y. T. (2005). Conceptual information permeates word learning in infancy. *Developmental Psychology*, *41*, 491-505.
- Borghgi, A. M. (2004). Object concepts and action: Extracting affordances from objects parts. *Acta Psychologica*, *115*(1), 69-96.
- Borghgi, 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.
- Borghgi, A. M., & Cimatti, F. (2010). Embodied cognition and beyond: Acting and sensing the body. *Neuropsychologia*, *48*(3), 763-773.
- Borghgi, A. M., Flumini, A., Natraj, N., & Wheaton, L. A. (2012). One hand, two objects: Emergence of affordance in contexts. *Brain and Cognition*, *80*, 64 - 73.
- Borghgi, A. M., & Riggio, L. (2009). Sentence comprehension and simulation of object temporary, canonical and stable affordances. *Brain Research*, *1253*, 117-128.
- Borreggine, K. L., & Kaschak, M. P. (2006). The Action-Sentence Compatibility Effect: It's All in the Timing. *Cognitive Science*, *30*(6), 1097-1112.
-

- Boulenger, V., Roy, A. C., Paulignan, Y., Deprez, V., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2006). Cross-talk between Language Processes and Overt Motor Behavior in the First 200 msec of Processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(10), 1607-1615.
- Boulenger, V., Silber, B. Y., Roy, A. C., Paulignan, Y., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Subliminal display of action words interferes with motor planning: A combined EEG and kinematic study. *Journal of Physiology Paris*, *102*, 130-136.
- Brouwer, A. M., Georgiou, L., Glover, S., & Castiello, U. (2006). Adjusting reach to lift movements to sudden visible changes in target's weight. *Experimental Brain Research*, *173*(4), 629-636.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: Sensory priming effects in semantic categorization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(5), 955-964.
- Bruner, J. (1966). *Studies in cognitive growth: A collaboration at the Center for Cognitive Studies*. New York: Wiley & Sons.
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Cree, J. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, *106*, 27-58.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., et al. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *13*(2), 400-404.
- Bulloch, M. J., & Opfer, J. E. (2009). What makes relational reasoning smart? Revisiting the perceptual-to-relational shift in the development of generalization. *Developmental Science*, *12*(1), 114-122.
- 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.
- Buxbaum, L. J., Kylea, K. M., Tang, K., & Detre, J. A. (2006). Neural substrates of knowledge of hand postures for object grasping and functional object use: Evidence from fMRI. *Brain Research*, *1117*, 175-185.
- Caggiano, V., Fogassi, L., Rizzolatti, G., Pomper, J. K., Thier, P., Giese, M. A., et al. (2011). View-Based Encoding of Actions in Mirror Neurons of Area F5 in Macaque Premotor Cortex. *Current Biology*, *21*(2), 144-148.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action Observation and Acquired Motor Skills: An fMRI Study with Expert Dancers. *Cerebral Cortex*, *15*(8), 1243-1249.
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2006). Seeing or Doing? Influence of Visual and Motor Familiarity in Action Observation. *Current Biology*, *16*(19), 1905-1910.
- Caramazza, A., & Mahon, B. Z. (2003). The organization of conceptual knowledge: the evidence from category-specific semantic deficits. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(8), 354-361.
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-Specific Knowledge Systems in the Brain: The Animate-Inanimate Distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(1), 1 - 34.
- Carey, S. (2000). The Origin of Concepts. *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 37-41.
- Carr, T. H., McCauley, C., Sperber, R. D., & Parmelee, C. M. (1982). Words, pictures, and priming: On semantic activation, conscious identification, and the automaticity of information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*(6), 757-777.
- Casler, K., & Keleman, D. (2005). Young children's rapid learning about artifacts. *Developmental Science*, *8*(6), 472-480.
- Casler, K., & Kelemen, D. (2007). Reasoning about artifacts at 24 months: The developing teleo-functional stance. *Cognition*, *103*(1), 120-130.
- Catmur, C., Gillmeister, H., Bird, G., Liepelt, R., Brass, M., & Heyes, C. (2008). Through the looking glass: counter-mirror activation following incompatible sensorimotor learning. *European Journal of Neuroscience*, *28*(6), 1208-1215.
- Chao, L. L., Haxby, J. V., & Martin, A. (1999). Attribute-based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature neuroscience*, *2*(10), 913-919.
- Chevalier, N., Blaye, A., Dufau, S., & Lucenet, J. (2010). What visual information do children and adults consider while switching between tasks? Eye-tracking investigation of cognitive flexibility development. *Developmental Psychology*, *46*(4), 953-972.
- Cho, D., & 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), 853-861.

- Chong, T. T. J., & Mattingley, J. B. (2009). Automatic and Controlled Processing within the Mirror Neuron System. In *Mirror Neuron Systems* (pp. 1-21): Humana Press.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the Mind: Embodiment, Action, and Cognitive Extension*. New York: Oxford University Press.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58, 7-19.
- Clark, J. E., Trully, T. L., & Phillips, S. L. (1993). On the development of walking as a limit cycle system. In L. B. Smith & E. Thelen (Eds.), *A dynamic systems approach to development* (pp. 71-93). Cambridge, MA: MIT Press.
- Collins, J., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Coulson, S. (2011). Modality Switching in a Property Verification Task: An ERP Study of What Happens When Candles Flicker after High Heels Click. *Frontiers in psychology*, 2, 10.
- Cree, G. S., & McRae, K. (2003). Analyzing the factors underlying the structure and computation of the meaning of chipmunk, cherry, chisel, cheese, and cello and many other such concrete nouns. *Journal of Experimental Psychology General*, 132, 163 - 201.
- Cross, E. S., Hamilton, A. F. d. C., & Grafton, S. T. (2006). Building a motor simulation de novo: Observation of dance by dancers. *NeuroImage*, 31(3), 1257-1267.
- Daehler, M., Lonardo, R., & Bukatko, D. (1979). Matching and equivalence judgments in very young children. *Child Development*, 50(1), 170-179.
- Dahan, D., & Tanenhaus, M. K. (2005). Looking at the rope when looking for the snake: Conceptually mediated eye movements during spoken-word recognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 453-459.
- de Vega, M., Robertson, D., Glenberg, A. M., Kaschak, M. P., & Rinck, M. (2004). On doing two things at once: Temporal constraints on actions in language comprehension. *Memory & Cognition*, 32(7), 1033-1043.
- Deak, G. O., Ray, S. D., & Pick, A. D. (2002). Matching and naming objects by shape or function: age and context effects in preschool children. *Developmental Psychology*, 38(4), 503-518.
- Defeyter, M. A., Hearing, J., & German, T. C. (2009). A developmental dissociation between category and function judgments about novel artifacts. *Cognition*, 110(2), 260-264.
- Dehaene, S. (2004). The neural bases of subliminal priming In N. Kanwisher & J. Duncan (Eds.), *Functional neuroimaging of visual cognition (attention and performance series)* (Vol. 20, pp. 205-224). New York: Oxford University Press
- Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2011). Experimental and Theoretical Approaches to Conscious Processing. *Neuron*, 70(2), 200-227.
- Del Giudice, M., Manera, V., & Keysers, C. (2009). Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons. *Developmental Science*, 12, 350-363.
- Di Giacomo, D., De Federicis, L., Pistelli, M., Fiorenzi, D., & Passafiume, D. (2012). Semantic associative relations and conceptual processing. *Cognitive Processing*, 13(1), 55-62.
- Di Paolo, E. A., Rohde, M., & De Jaegher, H. (2011). Horizons for the enactive mind: Values, social interaction, and play. In J. Stewart, O. Gapenne & E. A. Di Paolo (Eds.), *Enaction: Towards a New Paradigm for Cognitive Science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Diesendruck, G., & Bloom, P. (2003). How specific is the shape bias? *Child Development*, 74, 168-178.
- Diesendruck, G., Hammer, R., & Catz, O. (2003). Mapping the similarity space of children and adults' artifact categories. *Cognitive Development*, 18(2), 217-231.
- Diesendruck, G., Markson, L., & Bloom, P. (2003). Children's reliance on creator's intent in extending names for artifacts. *Psychological Science*, 14(164-168).
- Dinstein, I., Hasson, U., Rubin, N., & Heeger, D. J. (2007). Brain Areas Selective for Both Observed and Executed Movements. *Journal of Neurophysiology*, 98(3), 1415-1427.
- Dinstein, I., Thomas, C., Behrmann, M., & Heeger, D. J. (2008). A mirror up to nature. *Current Biology*, 18(1), R13-R18.
- DiYanni, C., & Kelemen, D. (2005). Time to get a new mountain? The role of function in children's conceptions of natural kinds. *Cognition*, 97(3), 327-335.
- DiYanni, C., & Kelemen, D. (2008). Using a bad tool with good intention: Young children's imitation of adults' questionable choices. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101(4), 241-261.
- Dunham, P. J., & Dunham, F. (1995). Developmental antecedents of taxonomic and thematic strategies at 3 years of age. *Developmental Psychology*, 31(3), 483-493.
- Edelman, G. M. (1987). *Neural Darwinism: The theory of neuronal group selection*. New York, NY, US: Basic Books.

- Eimas, P. D. (1994). Categorization in early infancy and the continuity of development. *Cognition*, 50(1-3), 83-93.
- Eimas, P. D., & Quinn, P. C. (1994). Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development*, 65(3), 903-917.
- Eimas, P. D., Quinn, P. C., & Cowan, P. (1994). Development of exclusivity in perceptually based categories of young infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 58(3), 418-431.
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451-471.
- Engelen, J. A. A., Bouwmeester, S., de Bruin, A. B. H., & Zwaan, R. A. (2011). Perceptual simulation in developing language comprehension. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 659-675.
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror Neurons and Mirror Systems in Monkeys and Humans. *Physiology*, 23(3), 171-179.
- Fadiga, L., Craighero, L., & Olivier, E. (2005). Human motor cortex excitability during the perception of others' action. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 213-218.
- Fecteau, S., Carmant, L., Tremblay, C., Robert, M., Bouthillier, A., & Théoret, H. (2004). A motor resonance mechanism in children? Evidence from subdural electrodes in a 36-month-old child. *NeuroReport*, 15(17), 2625-2627.
- Feng, G. (2011). Eye Tracking: A brief guide for developmental researchers. *Journal of Cognition & Development*, 12(1), 1 - 11.
- Fenson, L., Vella, D., & Kennedy, M. (1989). Children's knowledge of thematic and taxonomic relations at two years of age. *Child Development*, 60, 911 - 919.
- Ferrand, L., & Grainger, J. (1996). List context effects on masked phonological priming in the lexical decision task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 515-519.
- Ferrier, L., Staudt, A., Reilhac, G., Jimenez, M., & Brouillet, D. (2007). Influence of typical size of objects in a categorization task. *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 61(4), 316-321.
- Fischer, M. H., Prinz, J., & Lotz, K. (2008). Grasp cueing shows obligatory attention to action goals. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 860-868.
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 825-850.
- Fisher, A. V. (2011). Processing of perceptual information is more robust than processing of conceptual information in preschool-age children: Evidence from costs of switching. *Cognition*, 119(2), 253-264.
- Fisher, A. V., & Sloutsky, V. M. (2005). When induction meets memory: Evidence for gradual transition from similarity-based to category-based induction. *Child Development*, 76(3), 583-597.
- Flores d'Arcais, G. B., Schreuder, R., & Glazenborg, G. (1985). Semantic activation during recognition of referential words. *Psychological Research*, 47(1), 39-49.
- Fodor, J. (1983). *The Modularity of Mind*: The MIT Press.
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*, 308(5722), 662-667.
- Froese, T., & Ziemke, T. (2009). Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind. *Artificial Intelligence*, 173(3-4), 466-500.
- Gallese, V. (2007). The "conscious" dorsal stream: embodied simulation and its role in space and action conscious awareness. *Psyche*, 13(1), 1-20.
- Gallese, V. (2009). Motor abstraction: A neuroscientific account of how action goals and intentions are mapped and understood. *Psychological Research*, 73, 486-498.
- Gazzola, V., & Keysers, C. (2009). The observation and execution of actions share motor and somatosensory voxels in all tested subjects: Single-subject analyses of unsmoothed fMRI data. *Cerebral Cortex*, 19(6), 1239-1255.
- Gelaes, S., & Thibaut, J. P. (2006). The role of the structure of parts and of the overall object shape in children's generalization of novel object names. *Cognitive Development*, 21(3), 369-376.
- Gelman, S. A. (2004). Psychological essentialism in children. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(9), 404-409.
- Gelman, S. A., & Bloom, P. (2000). Young children are sensitive to how an object was created when deciding what to name it. *Cognition*, 76, 91-103.
- Gelman, S. A., & Markman, E. M. (1986). Categories and induction in young children. *Cognition*, 23, 183 - 209.

- Gelman, S. A., & Markman, E. M. (1987). Young children's inductions from natural kinds: The role of categories and appearances. *Child Development*, *58*, 1532 - 1541.
- Gelman, S. A., & Wellman, H. M. (1991). Insides and essences: Early understandings of the non-obvious. *Cognition*, *38*(3), 213-244.
- Gentner, D., & Namy, L. L. (1999). Comparison in the development of categories. *Cognitive Development*, *14*, 487-513.
- Gershkoff-Stowe, L., & Thelen, E. (2004). U-shaped changes in behavior: A dynamic systems perspective. *Journal of Cognition & Development*, *5*(1), 11-36.
- Gibson, E. J. (2000). Commentary on Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 43-48.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Oxford, England: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gibson, J. J. (1986). *The Ecological Approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Girardi, G., Lindemann, O., & Bekkering, H. (2010). Context Effects on the Processing of Action-Relevant Object Features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(2), 330-340.
- Glenberg, A. M. (2010). Embodiment as a unifying perspective for psychology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*(4), 586-596.
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(3), 558-565.
- Glenberg, A. M., & Robertson, D. A. (2000). Symbol grounding and meaning: A comparison of high-dimensional and embodied theories of meaning. *Journal of Memory and Language*, *43*(3), 379-401.
- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., & Buccino, G. (2008). Processing abstract language modulates motor system activity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(6), 905-919.
- Glenberg, A. M., Schroeder, J., & Robertson, D. (1998). Averting the gaze disengages the environment and facilitates remembering. *Memory & Cognition*, *26*(4), 651-658.
- Goldfield, E. C. (1989). Transition from rocking to crawling: Postural constraints on infant movement. *Developmental Psychology*, *25*(6), 913-919.
- Goldfield, E. C. (1993). Dynamic systems in development: Action systems. In L. B. Smith & E. Thelen (Eds.), *A dynamic systems approach to development: Applications* (pp. 51-70). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Golinkoff, R. M., Shuff-Bailey, M., Olguin, R., & Ruan, W. (1995). Young children extend novel words at the basic level: Evidence for the principle of categorical scope. *Developmental Psychology*, *31*(3), 494-507.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., et al. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *NeuroImage*, *32*(2), 906-912.
- Goslin, J., Dixon, T., Fischer, M. H., Cangelosi, A., & Ellis, R. (2012). Electrophysiological Examination of Embodiment in Vision and Action. *Psychological Science*, *23*(2), 152-157.
- Graham, S. A., Namy, L. L., Gentner, D., & Meagher, K. (2010). The role of comparison in preschoolers' novel object categorization. *Journal of Experimental Child Psychology*, *107*(3), 280-290.
- Greif, M. L., Kemler Nelson, D. G., Keil, F. C., & Gutierrez, F. (2006). What do children want to know about animals and artifacts? *Psychological Science*, *17*, 455 - 459.
- Grèzes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, *12*(1), 1-19.
- Grèzes, J., & Decety, J. (2002). Does visual perception of object afford action? Evidence from a neuroimaging study. *Neuropsychologia*, *40*(2), 212-222.
- 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.
- Grossman, T., Gliga, T., Johnson, M. H., & Mareschal, D. (2009). The neural basis of perceptual category learning in human infants. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(12), 2276-2286.
- Hamilton, A. F., & Grafton, S. T. (2006). Goal representation in human anterior intraparietal sulcus. *The Journal of Neuroscience*, *26*(4), 1133-1137.

- Hammer, R., & Diesendruck, G. (2005). The role of dimensional distinctiveness in children's and adults' artifact categorization. *Psychological Science*, *16*(2), 137-144.
- Harman James, K., & Maouene, J. (2009). Auditory verb perception recruits motor systems in the developing brain: An fMRI investigation. *Developmental Science*, *12*(6), F26-F34.
- Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, *42*(1-3), 335-346.
- Hashimoto, N., McGregor, K. K., & Graham, A. (2007). Conceptual Organization at 6 and 8 Years of Age: Evidence From the Semantic Priming of Object Decisions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *50*, 191-176.
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmüller, E., Schroeder, U., Boecker, H., & Ceballos-Baumann, A. (2005). Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(2), 282-293.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, *22*, 301-307.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2004). Neurophysiological distinction of action words in the fronto-central cortex. *Human Brain Mapping*, *21*, 191-201.
- Hauk, O., Shtyrov, Y., & Pulvermüller, F. (2008). The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology. *Journal of Physiology-Paris*, *102*, 50-58.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior : A Neuropsychological Theory*. New York: Wiley.
- Helbig, H. B., Graf, M., & Kiefer, M. (2006). The role of action representations in visual object recognition. *Experimental Brain Research*, *174*, 221-228.
- Helbig, H. B., Steinwender, J., Graf, M., & Kiefer, M. (2010). Action observation can prime visual object recognition. *Experimental Brain Research*, *200*(3), 251-258.
- Heyes, C. (2010). Where do mirror neurons come from? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*(4), 575-583.
- Heyes, C., Bird, G., Johnson, H., & Haggard, P. (2005). Experience modulates automatic imitation. *Cognitive Brain Research*, *22*(2), 233-240.
- Hollander, M. A., Gelman, S. A., & Raman, L. (2009). Generic language and judgements about category membership: Can generics highlight properties as central? . *Language and Cognitive Processes*, *24*(4), 481 – 505.
- Huetting, F., & Altmann, G. T. M. (2005). Word meaning and the control of eye fixation: Semantic competitor effects and the visual world paradigm. *Cognition*, *96*, B23-B32.
- Huetting, F., & Altmann, G. T. M. (2011). Looking at anything that is green when hearing “frog”: How object surface colour and stored object colour knowledge influence language-mediated overt attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *64*, 122-145.
- Iacoboni, M. (2009). Imitation, Empathy, and Mirror Neurons. *Annual Review of Psychology*, *60*, 653-670.
- Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the Intentions of Others with One's Own Mirror Neuron System. *PLoS Biol*, *3*(3), e79.
- Imai, M., Gentner, D., & Ushida, N. (1994). Children's theories of word meaning: The role of shape similarity in early acquisition. *Cognitive Development*, *9*, 45-75. *Cognitive Development*, *9*, 45-75.
- Isableu, B., Ohlmann, T., Crémieux, J., & Amblard, B. (1997). Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Experimental Brain Research*, *114*(3), 584-589.
- Isableu, B., Ohlmann, T., Crémieux, J., & Amblard, B. (2003). Differential approach to strategies of segmental stabilisation in postural control. *Experimental Brain Research*, *150*(2), 208-221.
- Jackson, P. L., Rainville, P., & Decety, J. (2006). To what extent do we share the pain of others? Insight from the neural bases of pain empathy. *Pain*, *125*(1), 5-9.
- James, K. H., & Maouene, J. (2009). Auditory verb perception recruits motor systems in the developing brain: an fMRI investigation. *Developmental Science*, *12*(6), F26-F34.
- Jaswal, V. K. (2006). Preschoolers favor the creator's label when reasoning about an artifact's function. *Cognition*, *99*, B83-B92.
- Jax, S. A., & Buxbaum, L. J. (2010). Response interference between functional and structural actions linked to the same familiar object. *Cognition*, *115*(2), 350-355.
- Jeannerod, M. (2001). Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage*, *14*(1), S103-S109.

- Joseph, J. E., & Proffitt, D. R. (1996). Semantic versus perceptual influences of color in object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(2), 407-429.
- Kalenine, S. (2008). *Mécanismes de formation des concepts d'objets : rôle de la perception et de l'action. Approche développementale et différentielle*. Unpublished Thèse de doctorat, Université Pierre Mendès France, Grenoble.
- Kalenine, S., & Bonthoux, F. (2006). The formation of living and non living superordinate concepts as a function of individual differences. *Current Psychology Letters. Behavior, Brain & Cognition*, 19(2).
- Kalenine, S., & Bonthoux, F. (2008). Object manipulability affects children's and adults' conceptual processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(3), 667-672.
- Kalenine, S., Bonthoux, F., & Borghi, A. M. (2009). How action and context priming influence categorization: A developmental study. *British Journal of Developmental Psychology*.
- Kalenine, S., Garnier, C., Bouisson, K., & Bonthoux, F. (2007). Le développement de la catégorisation : l'impact différencié de deux types d'apprentissage en fonction des catégories d'objets, naturels ou fabriqués. *Psychologie et Education*, 2007(1), 33-45.
- Keil, F. C. (1992). The origins of an autonomous biology. In M. R. Gunnard & M. Maratsos (Eds.), *Modularity and Constrains in Language and Cognition* (pp. 103-137). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Kelemen, D. (1999). Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12), 461-468.
- Kellenbach, M. L., Wijers, A. A., & Mulder, G. (2000). Visual semantic features are activated during the processing of concrete words: event-related potential evidence for perceptual semantic priming. *Cognitive Brain Research*, 10(1&2), 67-75.
- Kemler Nelson, D. G. (1995). Principle-based inferences in young children's categorization: Revisiting the impact of function on the naming of artifacts. *Cognitive Development*, 10(3), 347-380.
- Kemler Nelson, D. G., Frankenfield, A., Morris, C., & Blair, E. (2000). Young children's use of functional information to categorize artifacts: Three factors that matter. *Cognition*, 77(2), 133-168.
- Kemler Nelson, D. G., O'Neil, K. A., & Asher, Y. M. (2008). A mutually facilitative relationship between learning names and learning concepts in preschool children: The case of artifacts. *Journal of Cognition and Development*, 9(2), 171-193.
- Kemler Nelson, D. G., Russell, R., Duke, N., & Jones, K. (2000). Two-year-olds will name artifacts by their functions. *Child Development*, 71(5), 1271-1288.
- Keysers, C., Kohler, E., Umiltà, M. A., Nanetti, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2003). Audiovisual mirror neurons and action recognition. *Experimental Brain Research*, 153(4), 628-636.
- Kiefer, M., & Pulvermüller, F. (2012). Conceptual representations in mind and brain: Theoretical developments, current evidence and future directions. *Cortex*, 48(7), 805-825.
- Kiefer, M., Sim, E., Liebich, S., Hauk, O., & Tanaka, J. (2007). Experience-dependent plasticity of conceptual representations in human sensory-motor areas. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(3), 525-542.
- Kilner, J. M., Neal, A., Weiskopf, N., Friston, K. I. J., & Frith, C. D. (2009). Evidence of Mirror Neurons in Human Inferior Frontal Gyrus. *The Journal of Neuroscience*, 29(32), 10153-10159.
- Kiverstein, J., & Clark, A. (2009). Introduction: Mind Embodied, Embedded, Enacted: One Church or Many? *Topoi*, 28(1), 1-7.
- Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons. *Science*, 297(5582), 846-848.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, 129(1), 108 -111
- Landau, B., Smith, L. B., & Jones, S. S. (1988). The importance of shape in early lexical learning. *Cognitive Development*, 3, 299- 321.
- Lautrey, J. (1990). *Esquisse d'un modèle pluraliste du développement cognitif*. Paris: PUF.
- Lautrey, J. (2003). A pluralistic approach to cognitive differentiation and development. In T. Lubart (Ed.), *Models of intelligence: International perspectives* (pp. 117-131). Washington, DC: A.P.A. Press.
- Lepage, J.-F., & Théoret, H. (2006). EEG evidence for the presence of an action observation-execution matching system in children. *European Journal of Neuroscience*, 23(9), 2505-2510.

- Lepage, J.-F., & Théoret, H. (2007). The mirror neuron system: grasping others' actions from birth? *Developmental Science*, *10*(5), 513-523.
- Levy, E., & Nelson, K. (1994). Words in discourse: a dialectical approach to the acquisition of meaning and use. *Journal of Child Language*, *21*(02), 367-389.
- Lindemann, O., Stenneken, P., van Shie, H. T., & Bekkering, H. (2006). Semantic activation in action planning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*(2), 633-643.
- Liu, J., Golinkoff, R. M., & Sak, K. (2001). One cow does not an animal make: young children can extend novel words at the superordinate level. *Child Development*, *72*, 1674-1694.
- Liuzza, M. T., Setti, A., & Borghi, A. M. (2012). Kids observing other kids' hands: Visuomotor priming in children. *Consciousness and Cognition*, *21*(1), 383-392.
- Louwerse, M., & Connell, L. (2011). A taste of words: Linguistic context and perceptual simulation predict the modality of words. *Cognitive Science*, *35*(2), 381-398.
- Lucariello, J., Kyratzis, A., & Nelson, K. (1992). Taxonomic knowledge: what kind and when? *Child Development*, *63*, 978-998.
- Lucariello, J., & Nelson, K. (1985). Slot-filler categories as memory organizers for young children. *Developmental Psychology*, *21*(2), 272-282.
- Lynott, D., & Connell, L. (2010). Embodied Conceptual Combination. *Frontiers in Psychology*, *1*.
- Macario, J. F. (1991). Young children's use of color in classification: Foods and canonically colored objects. *Cognitive Development*, *6*, 17-48.
- Madole, K. L., & Cohen, H. (1995). The role of object parts in infant's attention to form-function Correlations. *Developmental Psychology*, *31*(4), 637-648.
- Madole, K. L., & Oakes, L. M. (1999). Making sense of infant categorization: Stable processes and changing representations. *Developmental Review*, *19*, 263 - 296.
- Madole, K. L., Oakes, L. M., & Cohen, L. B. (1993). Developmental changes in infants' attention to function and form-function correlations. *Cognitive Development* *8*, 189-209.
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology*, *102*, 59-70.
- Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2009). Concepts and categories: a cognitive neuropsychological perspective. *Annual Review of Psychology*, *60*, 27-51.
- Mandler, J. M. (1984). *Stories, scripts and scenes*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Mandler, J. M. (1988). How to build a baby: On the development of an accessible representational system. *Cognitive Development*, *3*(2), 113-136.
- Mandler, J. M. (1992). How to Build a Baby: II. Conceptual Primitives. *Psychological Review*, *99*(4), 587-604.
- Mandler, J. M. (1999). Seeing Is Not the Same as Thinking: Commentary on "Making Sense of Infant Categorization". *Developmental Review*, *19*(2), 297-306.
- Mandler, J. M. (2000a). Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 3 - 36.
- Mandler, J. M. (2000b). Reply to the Commentaries on Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 67-79.
- Mandler, J. M. (2008). On the birth and growth of concepts. *Philosophical Psychology*, *21*(1), 207-230.
- Mandler, J. M. (2012). On the Spatial Foundations of the Conceptual System and Its Enrichment. *Cognitive Science*, *36*(3), 421-451.
- Mandler, J. M., & Bauer, P. J. (1988). The cradle of categorization: Is the basic level basic? *Cognitive Development*, *3*(3), 247-264.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1993). Concept formation in infancy. *Cognitive Development*, *8*(3), 291-318.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1996). *Drinking and driving don't mix : inductive generalization in infancy* (Vol. 59). Amsterdam, PAYS-BAS: Elsevier.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1998a). On developing a knowledge base in infancy. *Developmental Psychology*, *34*(6), 1274-1288.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1998b). Studies in Inductive Inference in Infancy. *Cognitive Psychology*, *37*(1), 60-96.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (2000). Advancing Downward to the Basic Level. *Journal of Cognition and Development*, *1*(4), 379-403.
- Mareschal, D., & French, R. M. (2000). Mechanisms of Categorization in Infancy. *Infancy*, *1*(1), 59-76.

- Mareschal, D., French, R. M., & Quinn, P. C. (2000). A connectionist account of asymmetric category learning in early infancy. *Developmental Psychology, 36*, 635-645.
- Margulis, E. H., Milsna, L. M., Uppunda, A. K., Parrish, T. B., & Wong, P. C. M. (2009). Selective neurophysiologic responses to music in instrumentalists with different listening biographies. *Human Brain Mapping, 30*(1), 267-275.
- Markman, E. M., & Hutchinson, J. E. (1984). Children's sensitivity to constraints on word meaning: Taxonomic versus thematic relations. *Cognitive Psychology, 16*(1), 1-27.
- Marques, J. F. (2006). Specialization and semantic organization: Evidence for multiple semantics linked to sensory modalities. *Memory & Cognition, 34*(1), 60-67.
- Marques, J. F., Canessa, N., Siri, S., Catricala, E., & Cappa, S. F. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Research, 1194*, 90-99
- Martin, A. (2007). The Representation of Object Concepts in the Brain. *Annual Review of Psychology, 58*, 25-45.
- Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: structure and processes. *Current Opinion in Neurobiology, 11*(2), 194-201.
- Masson, M. E. J., Bub, D. N., & Warren, C. M. (2008). Kicking calculators: Contribution of embodied representations to sentence comprehension. *Journal of Memory and Language, 59*, 256- 265.
- Matan, A., & Carey, S. (2001). Developmental changes within the core of artifact concepts. *Cognition, 78*, 1-26.
- McBride, J., Sumner, P., & Husain, M. (2012). Conflict in object affordance revealed by grip force. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 65*(1), 13-24.
- McRae, K., Cree, G. S., Seidenberg, M. S., & McNorgan, C. (2005). Semantic feature production norms for a large set of living and nonliving things. *Behavior Research Methods, 37*, 547-559.
- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology General, 90*, 227-234.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Moss, H. E., Ostrin, R. K., Tyler, L. K., & Marslen-Wilson, W. D. (1995). Accessing different types of lexical semantic information: Evidence from priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 21*, 863-883.
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: A developmental study. *Developmental Science, 10*(6), 836-852.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology, 20*(8), 750-756.
- Murphy, G. L., & Medin, D. L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review, 92*(3), 289-316.
- Myung, J., Blumstein, S. E., & Sedivy, J. C. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition, Volume 98*(Issue 3), 223-243
- Nelson, K. (1973). Some evidence for cognitive primacy or categorization and its functional basis *Merill-Palmer Quaterly, 19*, 21-37.
- Nelson, K. (1974). Concept, word, and sentence: Interrelations in acquisition and development. *Psychological Review, 81*(4), 267-285.
- Nelson, K. (1983). The derivation of concepts and categories from event representations. In E. K. Scholnick (Ed.), *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory?* (pp. 129-149). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Nelson, K. (1985). *Making sense. The acquisition of shared meaning*. New York: Academic Press.
- Nelson, K. (1995). The dual category problem in the acquisition of action words. In M. Tomasello & W. Merriman (Eds.), *Beyond names for things: Young children's acquisition of verbs* (pp. 311-339). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Nelson, K. (2000). Global and Functional: Mandler's Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development, 1*(1), 49-54.
- Nelson, K. (2004). A welcome turn to meaning in infant development: commentary on Mandler's The foundations of mind: Origins of conceptual thought. *Developmental Science, 7*(5), 506-507.
- Nguyen, S. P. (2007). Cross-classification and category representation in children's concepts. *Developmental Psychology, 43*(3), 719-731.
- Nguyen, S. P., & Murphy, G. L. (2003). An Apple is More Than Just a Fruit: Cross-Classification in Children's Concepts. *Child Development, 74*(6), 1783-1806.

- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in Attitudes, Social Perception, and Emotion. *Personality and Social Psychology Review*, 9(3), 184-211.
- Niedenthal, P. M., Winkielman, P., Mondillon, L., & Vermeulen, N. (2009). Embodiment of emotion concepts. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(6).
- Noé, A. (2004). *Action in Perception*. Cambridge: MIT Press.
- Noppeney, U. (2008). The neural systems of tool and action semantics: A perspective from functional imaging. *Journal of Physiology-Paris*, 102, 40-49
- O'Regan, K., & Noé, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences* 24(5), 939-1001.
- Oakes, L. M., & Madole, K. L. (1999). From seeing to thinking: Reply to Mandler. *Developmental Review*, 19, 307 - 318.
- Oakes, L. M., & Madole, K. L. (2008). Function revisited: How infants construe functional features in their representation of objects. *Advances in Child Development and Behavior, Volume 36*, 135-185.
- Oakes, L. M., Plumert, J. M., Lansink, J. M., & Merryman, J. D. (1996). Evidence for task-dependent categorization in infancy. *Infant Behavior and Development*, 19(4), 425-440.
- Pacteau, C., Bonthoux, F., & Lautrey, J. (1996). Le traitement holistique peut-il guider le traitement analytique dans la catégorisation de visage? *L'année psychologique*, 96(2), 225-254.
- Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is face processing species-specific during the first year of life? *Science*, 296, 1321-1323.
- Pecher, D., & Raaijmakers, J. G. W. (1999). Automatic Priming Effects for New Associations in Lexical Decision and Perceptual Identification. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 52(3), 593-614.
- Pecher, D., van Dantzig, S., Zwaan, R. A., & Zeelenberg, R. (2009). Language Comprehenders Retain Implied Shape and Orientation of Objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1108-1114.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, 14(2), 119-124.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2004). Sensorimotor simulations underlie conceptual representations: Modality-specific effects of prior activation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(1), 164-167.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Raaijmakers, J. G. W. (1998). Does Pizza Prime Coin? Perceptual Priming in Lexical Decision and Pronunciation. *Journal of Memory and Language*, 38(4), 401-418.
- Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176-180.
- 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. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(11), 2190-2201.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in the child*. New York: Norton.
- Pitchford, N. J., & Mullen, K. T. (2001). Conceptualization of perceptual attributes: a special case for color? *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 289-314.
- Press, C., Gillmeister, H., & Heyes, C. (2007). Sensorimotor experience enhances automatic imitation of robotic action. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1625), 2509-2514.
- Prinz, W. (2006). What Re-Enactment Earns Us. *Cortex*, 42(4), 515-517.
- Proffitt, D. R. (2006). Distance Perception. *Current Directions in Psychological Science*, 15(3), 131-135.
- Pulvermüller, F., & Fadiga, L. (2010). Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language. *Nat Rev Neurosci*, 11(5), 351-360.
- Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, 21, 793-797.
- Pulvermüller, F., Hummel, F., & Härle, M. (2001). Walking or talking? Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain and Language*, 78, 143-168.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 1 - 9.
- Quinn, P. C. (2000). Perceptually Based Approaches to Understanding Early Categorization. *Infancy*, 1(1), 29-30.
- Quinn, P. C. (2004). Development of subordinate-level categorization in 3- to 7-month-old infants. *Child Development*, 75(3), 886-899.

- Quinn, P. C. (2008). In Defense of Core Competencies, Quantitative Change, and Continuity. *Child Development, 79*(6), 1633-1638.
- Quinn, P. C., Doran, M. M., Reiss, J. E., & Hoffman, J. E. (2009). Time Course of Visual Attention in Infant Categorization of Cats Versus Dogs: Evidence for a Head Bias as Revealed Through Eye Tracking. *Child Development, 80*(1), 151-161.
- Quinn, P. C., Doran, M. M., Reiss, J. E., & Hoffman, J. E. (2010). Neural markers of subordinate-level categorization in 6- to 7-month-old infants. *Developmental Science, 13*(3), 499-507.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (1996). Perceptual cues that permit categorical differentiation of animal species by infants. *Journal of Experimental Child Psychology, 63*, 189-211.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (1997). A re-examination of the perceptual-to-conceptual shift in mental representations. *Review of General Psychology, 1*(271 - 287).
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (1998). Evidence for a Global Categorical Representation of Humans by Young Infants. *Journal of Experimental Child Psychology, 69*(3), 151-174.
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (2000). The emergence of category representations during infancy: are separate perceptual and conceptual processes required? *Journal of Cognition and Development, 1*, 55-61.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D., & Rosenkranz, S. L. (1993). Evidence for representations of perceptually similar natural categories by 3-month-old and 4-month-old infants. *Perception, 22*(4), 463-475.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D., & Tarr, M. J. (2001). Perceptual Categorization of Cat and Dog Silhouettes by 3- to 4-Month-Old Infants. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*(1), 78-94.
- Quinn, P. C., & Johnson, M. H. (1997). The emergence of perceptual category representations in young infants: A connectionist analysis. *Journal of Experimental Child Psychology, 66*, 236-264.
- Quinn, P. C., & Johnson, M. H. (2000). Global-before-basic object categorization in connectionist networks and 2-month-old infants. *Infancy, 1*, 31-46.
- Quinn, P. C., Johnson, M. H., Mareschal, D., Rakison, D. H., & Younger, B. A. (2000). Understanding Early Categorization: One Process or Two? *Infancy, 1*(1), 111-122.
- Quinn, P. C., Slater, A. M., Brown, E., & Hayes, R. A. (2001). Developmental change in form categorization in early infancy. *British Journal of Developmental Psychology, 19*(2), 207-218.
- Quinn, P. C., & Tanaka, J. (2007). Early development of perceptual expertise: Within-basic-level categorization experience facilitates the formation of subordinate-level category representations in 6- to 7-month-old infants. *Memory & Cognition, 35*(6), 1422-1431.
- Quinn, P. C., Westerlund, A., & Nelson, C. A. (2006). Neural Markers of Categorization in 6-Month-Old Infants. *Psychological Science, 17*(1), 59-66.
- Rakison, D. H. (2006). Make the first move: how infants learn about self-propelled objects. *Developmental Psychology, 42*(5), 900-912.
- Rakison, D. H., Cicchino, J. B., & Hahn, E. R. (2007). Infants' knowledge of the path that animals take to reach a goal. *British Journal of Developmental Psychology, 25*(3), 461-470.
- Rakison, D. H., & Poulin-Dubois, D. (2001). Developmental origin of the animate inanimate distinction. *Psychological Bulletin, 127*(2), 209-228.
- Raposo, A., Moss, H. E., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2009). Modulation of motor and premotor cortices by actions, action words and action sentences. *Neuropsychologia, 47*, 388-396.
- Reuchlin, M. (1978). Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de Psychologie, 75*(2), 133-145.
- Reznick, J. S. (2000). Interpreting Infant Conceptual Categorization. *Journal of Cognition and Development, 1*(1), 63-66.
- Richardson, D. C., & Spivey, M. J. (2000). Representation, space, and Hollywood Squares: Looking at things that aren't there anymore. *Cognition, 76*, 269-295.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annual Review of Neuroscience, 27*(1), 169-192.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research, 3*(2), 131-141.
- Rizzolatti, G., & Matelli, M. (2003). Two different stream form the visual system: Anatomy and functions. *Experimental Brain Research, 153*, 146-157.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2010). The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience, 11*, 264-274.
- Roll-Carpentier, N., Bonthoux, F., & Kalénine, S. (2006). Vieillesse de l'organisation conceptuelle : accès aux propriétés des objets naturels et fabriqués. *L'Année Psychologique, 106*, 27 - 42.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. *Cognition and categorization, 21 - 48*.

- Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7(4), 573-605.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8(3), 382-439.
- Rousset, S. (2000). Les conceptions système unique de la mémoire : aspects théoriques. *Revue de neuropsychologie* 10(1), 27-51.
- Samuelson, L. K., & Smith, L. B. (2000). Children's attention to rigid and deformable shape in naming and non naming tasks. *Child Development*, 71(6), 1555-1570.
- Schaefer, M., Xu, B., Flor, H., & Cohen, L. G. (2009). Effects of different viewing perspectives on somatosensory activations during observation of touch. *Human Brain Mapping*, 30(9), 2722-2730.
- Scheuner, N., & Bonthoux, F. (2004). La construction des catégories surordonnées chez l'enfant : utilisation différentielle des indices perceptifs et contextuels selon le domaine. *Bulletin de Psychologie*, 57, 99-103.
- Schöner, G., & Thelen, E. (2006). Using dynamic field theory to rethink infant habituation. *Psychological Review*, 113(2), 273-299.
- Schreuder, R., Flores d'Arcais, G. B., & Glazenborg, G. (1984). Effects of perceptual and conceptual similarity in semantic priming. *Psychological Research*, 45(4), 339-354.
- Schulz, L. E., Standing, H. R., & Bonawitz, E. B. (2008). Words, thought, and deed: The role of object categories in children's inductive inference and exploratory play. *Developmental Psychology*, 44(5), 1266-1276.
- Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2007). Perceptual resonance: Action-induced modulation of perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(8), 349-355.
- Scorolli, C., & Borghi, A. M. (2007). Sentence comprehension and action: Effector specific modulation of the motor system. *Brain Research*, 1130, 119-124.
- Scorolli, C., Borghi, A. M., & Glenberg, A. M. (2009). Language-induced motor activity in bi-manual object lifting. *Experimental Brain Research*, 193(1), 43-53.
- Setti, A., Borghi, A. M., & Tessari, A. (2009). Moving hands, moving entities. *Brain and Cognition*, 70(3), 253-258.
- Shebani, Z., & Pulvermüller, F. (2011). Moving the hands and feet specifically impairs working memory for arm- and leg-related action words. *Cortex*, doi: 10.1016/j.cortex.2011.10.005.
- Shmuelof, L., & Zohary, E. (2005). Dissociation between Ventral and Dorsal fMRI Activation during Object and Action Recognition. *Neuron*, 47(3), 457-470.
- Siegler, R. S. (2004). U-Shaped interest in U-shaped development--and what it means. *Journal of Cognition and Development*, 5(1), 1-10.
- Siegler, R. S., & Shipley, C. (1995). Variation, selection, and cognitive change. In T. Simon & G. Halford (Eds.), *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling* (pp. 31-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Simmons, W. K., & Barsalou, L. W. (2003). The similarity-in-topography principle: reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3), 451 - 486.
- Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Pictures of Appetizing Foods Activate Gustatory Cortices for Taste and Reward. *Cerebral Cortex*, 15(10), 1602-1608.
- Sloutsky, V. M., & Fisher, A. V. (2004). Induction and categorization in young children: a similarity-based model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(4), 596-605.
- Sloutsky, V. M., & Fisher, A. V. (2008). Attentional learning and flexible induction: how mundane mechanisms give rise to smart behaviors. *Child Development*, 79(3), 639-651.
- Sloutsky, V. M., Kloos, H., & Fisher, A. V. (2007). When Looks Are Everything: Appearance Similarity Versus Kind Information in Early Induction. *Psychological Science*, 18(2), 179-185.
- Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, Massachusetts Harvard University Press.
- Smith, L. B. (2005a). Action alters shape categories. *Cognitive Science*, 29(4), 665-679.
- Smith, L. B. (2005b). Emerging idea about categories. In L. Gershkoff-Stowe & D. Rakinson (Eds.), *Building Object Categories in Developmental Time* (pp. 159-173). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Smith, L. B., & Brazal, C. (2007). The dynamic lift of developmental process. *Developmental Science*, 10(1), 61-68.
- Smith, L. B., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: six lessons from babies. *Artificial Life*, 11(1-2), 13-29.

- Smith, L. B., Landau, B., & Jones, S. S. (1996). Naming in young children: a dumb attentional mechanism? *Cognition*, *60*, 143-171.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing properties locally. *Cognitive Psychology*, *43*(2), 129-169.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, *32*(2), 244-259.
- Spelke, E. S., & Kinzler, K. D. (2007). Core knowledge. *Developmental Science*, *10*, 89 - 96.
- Spence, C., Nicholls, M., & Driver, J. (2001). The cost of expecting events in the wrong sensory modality. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *63*(2), 330-336.
- Spencer, J., Quinn, P. C., Johnson, M. H., & Karmiloff-Smith, A. (1997). Heads you win, tails you lose: evidence for young infants categorizing mammals by head and facial attributes. *Early Development and Parenting*, *6*(3-4), 113-126.
- Spencer, J. P., & Thelen, E. (2003). Introduction to the special issue: Why this question and why now? *Developmental Science*, *6*(4), 375 - 377.
- Spivey, M. J., Richardson, D. C., & Dale, R. (2009). Movements of eye and hand in language and cognition. In E. Morsella & J. A. Bargh (Eds.), *The psychology of action* (Vol. 2). New York: Oxford University Press.
- Springer, K., & Keil, F. C. (1991). Early differentiation of causal mechanisms appropriate to biological and non biological things. *Child Development*, *62*, 767 - 781.
- Stanfield, R. A., & Zwaan, R. A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, *12*, 153-156.
- Symes, E., Ellis, R., & Tucker, M. (2007). Visual object affordances: Object orientation. *Acta Psychologica*, *124*(2), 238-255.
- Taddeo, M., & Floridi, L. (2005). Solving the symbol grounding problem: a critical review of fifteen years of research. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, *17*(4), 419 - 445.
- Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2008). Motor resonance and linguistic focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(6), 896-904.
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., et al. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(273-281).
- Thelen, E., & Bates, E. (2003). Connectionism and dynamic systems: are they really different? *Developmental Science*, *6*(4), 378-391.
- Thelen, E., & Smith, L. B. (2006). Dynamic systems theories. In R. M. Lerner (Ed.), *Handbook of Child Psychology* (6 ed., Vol. 1, pp. 258-312).
- Thibaut, J. P., & Toussaint, L. (2010). Developing motor planning over ages. *Journal of Experimental Child Psychology*, *105*(1-2), 116-129.
- Thompson, E., & Zahavi, D. (2007). Philosophical issues: Phenomenology. In P. D. Zelazo, M. Moscovitch & E. Thompson (Eds.), *The Cambridge Handbook of Consciousness* (pp. 67-87). Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Tomasello, M. (2002). Things Are What They Do: Katherine Nelson's Functional Approach to Language and Cognition. *Journal of Cognition and Development*, *3*(1), 5-19.
- Truxaw, D., Krasnow, M. M., Woods, C., & German, T. P. (2006). Conditions under which function information attenuates name extension via shape. *Psychological Science*, *17*(5), 367-371.
- 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.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2001). The potentiation of grasp types during visual objects categorization. *Visual Cognition*, *8*, 769-800.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, *Volume 116*(2), 185-203
- Umiltà, M. A., Escola, L., Intskirveli, I., Grammont, F., Rochat, M., Caruana, F., et al. (2008). When pliers become fingers in the monkey motor system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(6), 2209-2213.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. J. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-587). Cambridge, MA: MIT Press.

- 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*, 444-465.
- van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cognitive Science*, *32*(3), 579-590.
- van Elk, M., Schie, H. T., & Bekkering, H. (2008). Conceptual knowledge for understanding other's actions is organized primarily around action goals. *Experimental Brain Research*, *189*, 99-107.
- Van Geert, P. (1991). A dynamic systems model of cognitive and language growth. *Psychological Review*, *98*(1), 3-53.
- Varela, F., Thomson, E. T., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Ventura, P., Morais, J., Brito-Mendes, C., & Kolinsky, R. (2005). The mental representation of living and nonliving things: differential weighting and interactivity of sensorial and non-sensorial features. *Memory*, *13*(124 - 147).
- Vidic, J. M., & Haaf, R. A. (2004). Four-month-old infants' categorization of animals: Does anybody part hold privileged status? *The Psychological Record*, *54*, 187 - 197.
- Vishton, P. M., Stephens, N. J., Nelson, L. A., Morra, S. E., Brunick, K. L., & Stevens, J. A. (2007). Planning to reach for an object changes how the reacher perceives it. *Psychological Science*, *18*(9), 212 - 219.
- Walsh, M., Richardson, K., & Faulkner, D. (1993). Perceptual, thematic and taxonomic relations in children's mental representations: Responses to triads. *European Journal of Psychology of Education*, *8*(1), 85-102.
- Waxman, S. R., & Namy, L. L. (1997). Challenging the notion of a thematic preference in young children. *Developmental Psychology*, *33*(3), 555-567.
- Weisberg, J., van Turenout, M., & Martin, A. (2007). A neural system for learning about object function. *Cerebral Cortex*, *17*(5), 513-521.
- Welder, A. N., & Graham, S. A. (2001). The influence of shape similarity and shared labels on infant's inductive inference about nonobvious object properties. *Child Development*, *72*(6), 1653 - 1673.
- Westermann, G., & Mareschal, D. (2004). From parts to wholes: Mechanisms of development in infant visual object processing. *Infancy*, *5*(2), 131-151.
- Wheeler, M. E., Peterson, S. E., & Buckner, R. L. (2000). Memory's echo: Vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 11125-11129.
- Wilcox, T., Woods, R. P., & Chapa, C. (2008). Color-function categories that prime infants to use color information in an object individuation task. *Cognitive Psychology*, *57*(3), 220-261.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 625-636.
- Wilson, M., & Knoblich, G. (2005). The Case for Motor Involvement in Perceiving Conspicifics. *Psychological Bulletin*, *131*(3), 460-473.
- Witt, J. K. (2011). Action's Effect on Perception. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(3), 201-206.
- Witt, J. K., & Proffitt, D. R. (2008). Action-specific influences on distance perception: A role for motor simulation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(6), 1479-1492.
- Witt, J. K., Proffitt, D. R., & Epstein, W. (2005). Tool use affects perceived distance, but only when you intend to use it. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(5), 880-888.
- Wu, L.-L., & Barsalou, L. W. (2009). Perceptual simulation in conceptual combination: Evidence from property generation (English). *Acta psychologica*, *132*(2), 173-189.
- Yee, E., Drucker, D. M., & Thompson-Schill, S. L. (2010). fMRI-adaptation evidence of overlapping neural representations for objects related in function or manipulation. *NeuroImage*, *50*(2), 753-763.
- Yee, E., Huffstetler, S., & Thompson-Schill, S. L. (2011). Function follows form: Activation of shape and function features during object identification. *Journal of Experimental Psychology: General*, *140*(3), 348 - 363.
- Yoon, E. Y., Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (2010). The paired-object affordance effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*, 812-824.

Bibliographie

- Younger, B. A. (1990). Infants' detection of correlations among feature categories. *Child Development*, *61*, 614 - 620.
- Younger, B. A., & Cohen, L. B. (1986). Developmental change in infants' perception of correlations among attributes. *Child Development*, *57*, 803 - 815.
- Yu, C., & Smith, L. B. (2011). What you learn is what you see: using eye movements to study infant cross-situational word learning. 1023-1028.
- Zwaan, R. A., Madden, C. J., Yaxley, R. H., & Aveyard, M. E. (2004). Moving words: dynamic representations in language comprehension. *Cognitive Science*, *28*(4), 611-619.
- Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, *13*(2), 168-171.
- Zwaan, R. A., & Taylor, L. J. (2006). Seeing, acting, understanding: Motor resonance in language comprehension. *The Journal of Experimental Psychology: General*, *135*, 1-11.
- Zwaan, R. A., & Yaxley, R. H. (2004). Lateralization of object-shape information in semantic processing. *Cognition*, *94*(2), B35-B43.
-

ANNEXES

ANNEXE I : ETUDE 1

A. Article publié à partir des données de l'étude 1

ijbd

International Journal of
Behavioral Development

35(1) 78-83

© The Author(s) 2011

Reprints and permissions:
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav

DOI: 10.1177/0165025410371603

ijbd.sagepub.com

**Modality switching cost during property verification by 7 years of age****Solène Ambrosi,¹ Solène Kalenine,¹ Agnès Blaye,² and Françoise Bonthoux¹****Abstract**

Recent studies in neuroimaging and cognitive psychology support the view of sensory-motor based knowledge: when processing an object concept, neural systems would re-enact previous experiences with this object. In this experiment, a conceptual switching cost paradigm derived from Pecher, Zeelenberg, and Barsalou (2003, 2004) was used to investigate sensory-motor simulation in children's conceptual processing. Adults and 7-year-old children performed a property verification task involving visual and motor properties of manipulable artifacts. Verification times were compared for target trials preceded by a trial in which the property either involved the same modality or a different one. By 7 years of age, results revealed a modality switching cost with longer verification times in the different modality than in the same modality condition. In addition, the switching effect did not interact with age or property modality type. Results support an embodied view of concepts in both adults and children.

Keywords

conceptual knowledge, embodied cognition, modality-switch effect, property verification

Traditional views of cognition consider that concepts are amodal symbols independent of the brain's modal systems supporting perception and action. According to such views, perceptual and motor experience with objects is transformed in relatively stable conceptual representations stored in semantic memory (Rumelhart & Norman, 1988; Smith & Medin, 1981). Alternatively, embodied views of cognition propose that concepts are grounded in sensory-motor experience related to our actual interactions with objects (Barsalou, 2008; Smith & Breazeal, 2007; Spivey, Richardson, & Dale, 2009; Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2008). We interact with objects in many ways: for instance, we grasp, see, or eat them. Each different encounter involves a various range of sensory and/or motor modalities that recruit different sensory and motor neural pathways. Accordingly, the resulting pattern of activation in response to an object is specific to the current interaction and differs across situations. For instance, the neural pattern of activation involved when an apple is eaten differs from the one involved when the apple is picked up. Embodied views further assume that the retrieval of conceptual knowledge about objects leads to a neural simulation of our past interactions with these objects. As we typically interact with a given object, some modalities are more relevant for the corresponding concept. Thus the neural networks related to these specific modalities are more often and more easily activated when this concept is processed. In addition, embodied approaches argue that the modality relevance is modulated by the similarity between the situation of the object's interaction and the situation of concept processing. For instance, processing the concept [apple] would activate different neural networks when reading the sentence "he cooked the apples" or "he picked the apples". Under this approach, conceptual knowledge could not be entirely dissociated from physical experience since a concept would be represented by the reenactment of some previous experiences with the corresponding object.

Embodied approaches have received strong support from behavioral and neuroimaging studies in adults. Motor simulations

seem to underlie adults' conceptual processing of manipulable object concepts such as tools, since viewing, naming, and categorizing tools specifically activates the visuo-motor system involved in action execution and action semantics (Martin, 2007; Noppeney, 2008). Moreover, the reenactment of motor experience has been shown to influence conceptual processing. For instance, Tucker and Ellis (2004) reported compatibility effects between the response grips required to categorize visually presented objects (either a power or a precision grip) and the action afforded by these objects. Manipulation priming (e.g., key-screwdriver) has been demonstrated with words (Myung, Blumstein, & Sedivy, 2006) and pictures (Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008) representing manipulable objects. It is worth noting that these approaches are consistent with studies on categorical processing in children and in adults since thematic and taxonomic relations, classically considered as two ways for organizing concepts (Mandler, 2000; Nelson, 1983), seem to refer to different sensory-motor experiences. For instance thematic relations (e.g., jacket-hanger) based on contextual/functional similarity are processed faster for manipulable than non-manipulable object concepts by both children and adults, whereas taxonomic relations (e.g., jacket-coat) based on visual similarity are processed faster for non-manipulable concepts than manipulable ones (Kalenine & Bonthoux, 2008). In addition, taxonomic and thematic relationships differently activate the

¹ University Pierre Mendès France, France² University of Provence, France**Corresponding author:**

Solène Ambrosi, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, CNRS UMR 5105, Université Pierre Mendès France, PO Box 47, F-38040 Grenoble Cedex 9, France.

E-mail: Solene.Ambrosi@upmf-grenoble.fr

sensory-motor neural systems in adults (Kalenine, Peyrin, et al., 2009).

Evidence for perceptual simulations has also been provided. Conceptual processing of non-manipulable natural objects (i.e., animals), which are mainly characterized by visual properties, specifically recruits temporo-occipital brain areas usually associated with the processing of perceptual attributes such as shape or color (Kalenine, Peyrin et al., 2009; Marques, Canessa, Sirib, Catricala, & Cappa, 2008; Simmons, Hamann, Harenski, Hu, & Barsalou, 2008). Visual simulations then affect conceptual processing and language comprehension. Zwaan, Stanfield, and Yaxley (2002) asked participants to read sentences describing an object. The implicit object shape varied depending on its location (e.g., eagle in the sky, eagle in a nest). Then, participants were presented with some pictures of objects and had to name the objects or decide whether the objects had been previously mentioned in the sentence. The authors observed faster responses when the shape of the pictured object matched the shape implied in the sentence than when there was a mismatch. Altogether, these findings highlight the recruitment of motor or visual simulations during conceptual processing.

Another kind of study, using the conceptual switching cost paradigm, adds further evidence to embodied views of concepts. Pecher, Zeelenberg, and Barsalou (2003, 2004) demonstrate that modality specific systems are involved in conceptual processing (see also Marques, 2006; Vermeulen, Niedenthal, & Luminet, 2007). In these studies, concept names were presented in a property verification task with different properties on two occasions. Response verification times were faster when both properties were from the same modality (e.g., visual visual) than from different modalities (e.g., tactile-visual). Thus, switching attention from one modality to another incurs a cost. This cost suggests that adults run a simulation of the concept in a specific modality during the verification of the property; this modal simulation would hinder subsequent processing of the concept in another modality.

Overall, findings from behavioral and neuroimaging studies indicate that sensory and motor simulations are recruited when adults process concepts. However, although embodied theories consider that sensory-motor experience shapes concept formation, data supporting these views in a developmental perspective are rare. Yet a developmental study conducted on 5–11-year-old children emphasizes the relation between actions and object representations. Mounoud, Duscherer, Moy, & Perraudin (2007) observed a priming effect between the perception of an action pantomime and the recognition of the corresponding tool by the age of five. In addition, Smith (2005) elegantly demonstrates that motor experience influences object categorization in 2-year-old children. A recent priming study also showed that by 7 years of age, motor and contextual cues affect children's categorization of manipulable objects differently (Kalenine, Bonthoux, & Borghi, 2009). Such results suggest that previous sensory-motor activations could influence the way children conceptualize objects. However, there is still no direct evidence of multi-modal simulations in children.

In the present study, we wanted to test the involvement of modality-specific systems during children's conceptual processing. To this aim, we developed a new version of the conceptual switching cost paradigm adapted to children as young as possible. Due to several methodological constraints, 7-year-olds were selected. First, the use of written concepts (instead of pictures) was necessary to test conceptual knowledge, as the presentation of pictures could cue the verification task for visual properties but not for motor

properties, which would bias the evaluation of the switching hypothesis. Thus, children had to be old enough to be able to read words. Second, the switching cost paradigm depends on reaction times (RTs), and RTs are often unreliable in younger children. Since overly long experiments are problematic in young children, we decided to simplify the experimental design by selecting only two property modalities. Visual and motor modalities were selected because: a) neuro-imaging studies have shown visual and motor activation during word processing, suggesting that visual and motor information is constitutive of conceptual knowledge; b) different properties could be found for each concept in these modalities; and c) many visual and motor properties are well known by 7-year-olds. As embodied cognition theory involves matching between past interactions with an object and actual concept processing of this object, stimuli (both concepts and properties) had to refer to objects known and used by children. In this experiment, children had to successively verify two properties for the same concept, either from the same modality (i.e., visual-visual or motor-motor), or from different modalities (i.e., motor-visual or visual-motor). Switching across modalities was expected to induce a cost. A control group of adults was also enrolled in order to determine whether costs differ in children and adults.

Method

Participants

Twenty 7-year-old children (Mean = 7 years and 8 months, $SD = 3$ months), 12 boys and eight girls, participated in the main experiment. They were attending the second grade of elementary school. Written consent was obtained from both the school administration and the children's parents.

The 20 adult participants were students of Pierre Mendès France University (Mean = 22 years old, $SD = 3$ years), seven men and 13 women. They received course credit for their participation.

In addition, 20 7-year-olds and 40 adults were recruited to pretest the materials. All participants were native French speakers.

Stimuli and procedure

We used a property verification task. The principle of the property verification task is to present concept–property pairs and ask participants to decide whether the property corresponds to the concept or not.

The critical stimuli consisted of 16 names of manipulable artifacts. These concepts were associated with four true properties. For each concept, e.g., (*PAINTBRUSH*), two visual properties (i.e., “with bristles”, “has a handle”) and two motor properties (i.e., “one could dip it in paint”, “rinsed with water”) were designed. In each modality one of these properties was considered as the target property (i.e., “has a handle”, “rinsed with water”); the remaining properties were contextual properties (i.e., “with bristles”, “one could dip it in paint”). Each concept name was always presented twice successively: first with a contextual property either visual or motor, and second with a target property either visual or motor. Overall, there were four presentations of the same concept, twice in the same modality condition (SM) and twice in the different modality condition (DM). In the SM condition, two consecutive trials were either visual-visual (i.e., for [*PAINTBRUSH*] the property was first “with bristles” then “has a handle”) or motor-motor (i.e., for [*PAINTBRUSH*] the property

was first “one could dip it in paint” then “rinsed with water”). In the DM condition, two consecutive trials were either motor-visual or visual-motor.

Concept–property pairs were divided into two lists. Each concept appeared in both the SM and DM conditions in each list. The target property was then verified twice by a participant. Thus the modality switch condition was manipulated as within subjects factor. To control experiment duration and repetition of concepts, two lists were designed and counterbalanced between participants. For example, half of the participants were presented with concept A coupled with the same visual target property in SM and DM conditions (List 1), while the other half were presented with concept A coupled with the same motor target property in SM and DM conditions (List 2). The two lists had the same number of visual and motor target properties. Each participant processed $4 \times$ the 16 concept names, twice in the SM condition and twice in the DM condition, the modality of the condition being visual for eight concepts and motor for eight concepts. Moreover, the presentation order of SM and DM conditions was counterbalanced between lists. Consequently, in the case that the repetition of target properties facilitate their verification, this facilitation effect would occur as frequently in the SM as in the DM condition, and could not be responsible for switching costs.

Filler stimuli involved 32 additional concepts and were designed like critical stimuli. They were associated with visual and motor properties and strictly divided in SM and DM conditions. Half of these additional concepts were associated with four unrelated properties (false trials) in order to present an equivalent number of true and false expected responses. These concepts involved two consecutive negative responses. The remaining half of the filler concepts were coupled with both a true and a false property so that potential response strategies could be avoided. In this case, the true property appeared in either the first or the second occurrence. Finally, six further concepts were used for practice trials.

Concept–property pairs in the SM or DM conditions were composed of two successive trials and were presented randomly in each list. Overall, each participant performed 96 experimental trials (48 true trials and 48 false trials), preceded by 12 practice trials.

Each trial began with a fixation stimulus (1) during 500 ms. Then the concept name was presented visually and remained on the screen until a response was received. At the same time, the concept name was delivered from the computer so that it could be heard by the participant. Oral presentation of the property followed the concept enunciation. Oral presentation was necessary because 7-year-old French children are still in a phase of reading acquisition and could be expected to correctly read isolated words only. In the same way, the concept name remained on the screen during the property enunciation in order to help children remembering it.

Participants were asked to determine whether the property was “generally true” for the concept name. To ensure that they properly heard each property, there was a fixed amount of time during which they could not answer: responses were recorded from the end of the property enunciation (2165 ms after the presentation of the concept name). Reaction times (RTs) were recorded from property offset. Right-handed participants responded “yes” with their right hand and “no” with their left hand using two distinct keys of the keyboard. The response hand was reversed for left-handed participants.¹

Before the experiment, participants undertook a short training session to ascertain that they clearly understood the instructions.

The experimenter emphasized the fact that they had to answer “yes” if the properties could generally apply to the object. During four demonstration trials, children received a feedback on their response and the experimenter explained the correct answer if necessary. Then, children performed eight practice trials for which no feedback was given before undergoing the 96 experimental trials.

Control of the materials

A preliminary experiment was necessary to assess young children’s knowledge of concepts and properties. Regarding object concepts, we chose manipulable artifacts which are named and identified by at least 80% of 6-year-old children according to French naming norms (http://web.upmf-grenoble.fr/Banque_images/). For concept properties, since no semantic feature norms were available for French children, we interviewed 20 additional 7-year-old children (second grade, Mean = 7 years and 8 months, $SD = 2$ months). Children had two minutes to define each object: its shape, what it looks like, what one can do with it, and how one can use it. It is worth noting that their verbal descriptions sometimes referred to real objects and sometimes to toys. Productions were recorded and analyzed to extract the main distinctive motor and visual features for each object concept. This ensured that stimuli were properly understood by children and reflected their own knowledge.

Properties involving either a general action (*BALL*—“is thrown”) or a more specific action (*SPOON*—“to eat yoghurt”) were considered motor properties while properties referring either to the object’s global shape (*FLUTE*—“like a pipe”) or to a part of the object (*PAINTBRUSH*—“with bristles”) were considered visual properties. Motor properties denoted actions that children usually experienced with objects, including not only pure motor actions (e.g., throwing) but also functional actions (e.g., grasping to eat); both referred to children’s knowledge when they said what they do with an object. Moreover all properties, motor and visual, had been directly experienced; they referred either to gestures children had made themselves or to physical aspects they had encountered when seeing the objects. For each object, 16 additional adults rated both the visual and the motor aspects of every property. They rated the extent to which each property refers to visual features and the extent to which it refers to an action. Both ratings were scored on a scale ranging from 1 (not at all) to 5 (very much). Results show that visual properties are perceived as referring more to visual features than to actions, $F(1, 62) = 622, 94, MSe = 0.10, p < .001$. Similarly, motor properties are perceived as referring more to actions than to visual features, $F(1, 62) = 653, 76, MSe = 0.10, p < .001$. These results ensure that every property is particularly relevant either to the visual or to the motor modality. The properties designed as critical (the true properties) were those generated by all children. The filler properties were quoted at least by 75% of children. To create false properties, features quoted for one concept were associated with another concept. Visual and motor properties were equivalent in length (number of words) and in syntactic form (use of adjectives, verbs, circumlocutions, and direct words).

Before testing the switching cost hypothesis, an alternative explanation must be considered: the expected cost could be predicted by different association levels between properties in SM and DM conditions. If different modality properties are less associated than same modality properties, the observed cost could stem from property interrelatedness rather than from switching

Table 1. Mean Response Time in ms across group and condition

| | DM | SM | Switching cost |
|----------|------------------------|------------------------|----------------|
| Adults | 608 ms SD = 354 ms | 548 ms SD = 272 ms | 60 ms |
| Children | 1209 ms SD = 611 ms | 1068 ms SD = 571 ms | 141 ms |

between modalities. Observing longer RTs for the different than the same modality condition would then no longer support embodied views of concepts. To test this alternative explanation, a pretest using the concept–property-pairs of the main experiment was administered to 24 adults. Participants had to judge whether a pair (a concept followed by a target property) could be elicited by another pair (the same concept followed by a contextual property) on a scale ranging from 1 (not at all) to 5 (automatically). Results indicate that the association between same modality properties ($M = 3.68$, $SD = 0.06$) was not rated more strongly than the one between different modality properties ($M = 3.41$, $SD = 0.06$), $F(1, 60) = 2.50$, $MSe = 1.17$, $p = .12$. Neither the main effect of the property modality nor the interaction effect was significant. Hence property interrelatedness can be ruled out as an explanation of the expected difference between DM and SM conditions.

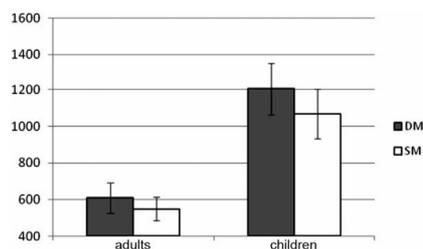
Results

Participants were correct on most trials. Overall, errors accounted for 13% of 7-year-olds' data and 5% of adults' data. The data of one child who exhibited a mean performance greater than 2 SD of the correct RTs average of his age group were removed from the analysis. Equivalent groups were then obtained by randomly removing the data of one child and two adult participants.

RTs for fillers (false and mixed trials) were removed from the analysis. Only RTs on target properties when both the target property and the previous contextual property had received a correct response were considered in the analysis. Correlations between percentages of correct responses and RTs did not show any evidence of a speed–accuracy trade-off either in children, $r = 0.13$, $p = 0.61$, or in adults, $r = 0.41$, $p = 0.21$. Consequently, the main analysis was conducted on correct RTs only. A $2 \times 2 \times 2$ ANOVA with condition (SM, DM) and property type (visual, motor) as within-subject factors and age (7 years, adults) as between-subject factor was conducted on correct RTs after logarithmic transformation to ensure variances homogeneity. Mean RTs for SM and DM conditions can be found in Table 1.

We observed a main effect of age, 7-year-olds being globally slower than adults, $F(1, 34) = 23.22$, $MSe = 0.13$, $p < .001$. Irrespective of age, results revealed a switching cost between modalities: mean RT is slower in DM than in SM condition, $F(1, 34) = 4.81$, $MSe = 0.015$, $p = .035$ (see Figure 1). In addition, the effect of condition does not interact with age, $F(1, 34) < 1$, or property type, $F(1, 34) = 2.48$, $MSe = 0.010$, $p = .12$, indicating that the present switching cost does not differ between 7-year-olds and adults on one hand, and between visual target properties and motor target properties on the other hand.

The data show that participants are slower on DM trials than on SM trials; this result is consistent with our prediction and embodied views of concepts. The observed cost reflects a true switching cost between modalities. This result supports a modal organization of conceptual knowledge.

**Figure 1.** Mean correct reaction times in ms with standard errors as a function of age group and condition.

Discussion

The present results confirm and extend previous findings obtained using the conceptual switching cost paradigm. Specifically, we found a conceptual switching cost in a property verification task in both adults and 7-year-old children. Moreover, preliminary analysis ensures that interrelatedness between contextual and target properties could neither hinder property verification in DM condition nor facilitate it in SM condition. The slower reaction times observed when the subsequent property is from a different modality indicate that participants simulate the property in the corresponding modal system to evaluate its adequacy to the concept. While several studies have shown that adults run multi-modal simulations when processing concepts (Barsalou, Pecher, Zeelenberg, Simmons, & Hamann, 2005; Marques, 2006; Solomon & Barsalou, 2004), the present experiment goes further and for the first time demonstrates the existence of multi-modal simulations by 7 years of age. Even if embodied views of concepts assume that conceptual development relies on the reenactment of perceptual and motor experience with objects, such models still lack direct developmental evidence. We showed that, like adult processing, children's conceptual processing is grounded in the sensory-motor systems. This view of the organization of concepts focuses on the role of sensory-motor interactions in the development of conceptual knowledge and suggests a linear evolution of category formation. This theoretical view is supported by previous studies showing that thematic relations linking objects from the same context can be easily detected from interactions with objects in daily action schemas. Thematic relations appear to be relevant at all ages: in young children (Lucariello, Kyratzis, & Nelson, 1992) but also in older children (Borghetti & Caramelli, 2003; Hashimoto, McGregor, & Graham, 2007) and adults (Lin & Murphy, 2001). In addition, pluralistic models of conceptual development propose that different mechanisms could co-exist during conceptual processing, as a function of situations and individual characteristics (Lautrey, 2003; Siegler & Shipley, 1995). Indeed children link objects based on their visual similarity and their contextual/functional similarity depending on object domain and individual preferences (Bonthoux & Kalenine, 2007). The preferential use of a categorization mode is also related to object manipulability: manipulable objects are more easily grouped together based on contextual/functional similarity, but non-manipulable objects are more easily grouped based on visual similarity (Kalenine & Bonthoux, 2008). This suggests that manipulation in particular, and more generally sensory-motor interactions, influence the way children categorize objects. Hence, our study further supports the

influence of past interactions on conceptual processing by showing that visual and motor information are reactivated during a conceptual task. For children, the content of an object concept, i.e., its properties, is related to the modality they have previously used to interact with that object.

Moreover, our study underlines the relevance of the conceptual switching cost paradigm in investigating the mechanisms underlying conceptual processing from a developmental perspective. The switching cost appears strong enough to be highlighted with a simplified version of the paradigm adapted to young children. Providing that the materials have been pre-tested appropriately, only two different modalities (i.e., visual and motor) may be required. In addition, modalities of presentation are flexible and both oral and written properties can be used. Thus, the task can be used with different age groups to better understand how multi-modal simulations are modulated by development. With additional adaptations of the paradigm, further research may be able to determine the characteristics of younger children's simulations.

Another interesting finding concerns the symmetry of visual and motor switching costs. Indeed, the modality switching effect did not interact with the target property type whatever the modality (i.e., visual or motor). The cost we observed was similar when switching from motor to visual modality as from visual to motor modality, indicating that children are able to run both visual and motor simulations. This finding may have implications for models of conceptual development, especially by addressing the link between motor and perceptual skills and their role in conceptual development. Some models have emphasized the role of perceptual processing in the early formation of concepts (Quinn, 2000): 3-month-olds can build object categories on-line from simple visual exposition. More critically, Sloutsky, Lo, and Fisher (2001) showed throughout similarity judgment, induction and categorization tasks that categorization relies on similarity-based processes in 4- and 5-year-old children and in 11-month-old infants (see also Sloutsky, 2003 for a review). However, motor experience (and more generally multi-modal simulations) has not been directly integrated in developmental models. Some research suggests that gestures facilitate and consolidate learning, emphasizing the role of motor stimulation on knowledge development in both children (Stevanoni & Salmon, 2005) and infants (Ozcaliskan & Goldin-Meadow, 2005). Producing gestures while learning a new way to resolve mathematical problems enables the children to solve the same problem even one month later (Cook, Mitchell, & Goldin-Meadow, 2008). Few studies directly emphasize the relevance of motor experience in concept formation (Kalenine, Bonthoux, et al., 2009; Mounoud et al., 2007; Smith, 2005). Our study shows that by the age of 7, motor simulation is as efficient as visual simulation in conceptual processing in children. It points out the necessity of considering that not only perception but also action drives the formation of object concepts.

Acknowledgements

We thank Jaclyn M. Sekula and Marie-Josèphe Tainturier for the English revision of this article.

Funding

This research was supported by the Centre National de la Recherche Scientifique.

Note

1. Only one child was left-handed.

References

- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
- Barsalou, L.W., Pecheur, D., Zeelenberg, R., Simmons, W.K., & Hamann, S.B. (2005). Multimodal simulation in conceptual processing. In W.K. Ahn, R.L. Goldstone, B.C. Love, A.B. Markman, & P. Wolff (Eds.), *Categorization inside and outside the lab: Festschrift in honor of Douglas L. Medin* (pp. 249–270). Washington, CD: American Psychological Association.
- Bonthoux, F., & Kalenine, S. (2007). Preschoolers' superordinate taxonomic categorization as a function of individual processing of visual vs. contextual/functional information and object domain. *Cognition Brain Behavior*, 11(Special Issue on the Development of Categorization), 713–731.
- Borgh, A.M., & Caramelli, N. (2003). Situation bounded conceptual organization in children: From action to spatial relations. *Cognitive Development*, 18, 49–60.
- Cook, S.W., Mitchell, Z., & Goldin-Meadow, S. (2008). Gesturing makes learning last. *Cognition*, 106, 1047–1058.
- Hashimoto, N., McGregor, K.K., & Graham, A. (2007). Conceptual organization at 6 and 8 years of age: Evidence from the semantic priming of object decisions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50, 161–176.
- Kalenine, S., & Bonthoux, F. (2008). Object manipulability affects children's and adults' conceptual processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15, 667–672.
- Kalenine, S., Bonthoux, F., & Borghi, A.M. (2009). How action and context priming influence categorization: A developmental study. *British Journal of Developmental Psychology*, 27, 717–730.
- Kalenine, S., Peyrin, C., Pichat, C., Segebarth, C., Bonthoux, F., & Baci, M. (2009). The sensory-motor specificity of taxonomic and thematic conceptual relations: A behavioral and fMRI study. *Neuroimage*, 44, 1152–1162.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, 129, 108–111.
- Lautrey, J. (2003). A pluralistic approach to cognitive differentiation and development. In T. Lubart (Ed.), *Models of intelligence: International perspectives* (pp. 117–131). Washington, DC: APA Press.
- Lin, E.L., & Murphy, G.L. (2001). Thematic relations in adults' concepts. *Journal of Experimental Psychology General*, 130(1), 3–28.
- Lucariello, J., Kyrtzias, A., & Nelson, K. (1992). Taxonomic knowledge: What kind and when? *Child Development*, 63, 978–998.
- Mandler, J.M. (2000). Perceptual and conceptual processes in infancy. *Journal of Cognition and Development*, 1, 3–36.
- Marques, J.F. (2006). Specialization and semantic organization: Evidence for multiple semantics linked to sensory modalities. *Memory & Cognition*, 34, 60–67.
- Marques, J.F., Canessa, N., Sirib, S., Catricala, E., & Cappa, S.F. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Research*, 1194, 90–99.
- Martin, A. (2007). The representation of object concepts in the brain. *Annual Review of Psychology*, 58, 25–45.
- Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G., & Perraudin, S. (2007). The influence of action perception on object recognition: A developmental study. *Developmental Science*, 10, 836–852.

- Myung, J., Blumstein, S.E., & Sedivy, J.C. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition*, *98*, 223–243.
- Nelson, K. (1983). The derivation of concepts and categories from event representations. In E.K. Scholnick (Ed.), *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory?* (pp. 129–149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Noppeney, U. (2008). The neural systems of tool and action semantics: A perspective from functional imaging. *Journal of Physiology—Paris*, *102*, 40–49.
- Ozcaliskan, S., & Goldin-Meadow, S. (2005). Gesture is at the cutting edge of early language development. *Cognition*, *96*, B101–B113.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L.W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, *14*, 119–124.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L.W. (2004). Sensorimotor simulations underlie conceptual representations: Modality-specific effects of prior activation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 164–167.
- Quinn, P.C. (2000). Perceptually based approaches to understanding early categorization. *Infancy*, *1*, 29–30.
- Rumelhart, D.E., & Norman, D.A. (1988). Representation in memory. In R.C. Atkinson, R.J. Herrnstein, G. Lindzey, & R.D. Luce (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology, Vol 2: Learning and cognition* (pp. 511–587). New York, NY: Wiley.
- Siegler, R.S., & Shipley, C. (1995). Variation, selection, and cognitive change. In T. Simon & G. Halford (Eds.), *Developing cognitive competence: New approaches to process modeling* (pp. 31–76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Simmons, W.K., Hamann, S.B., Harenski, C.L., Hu, X.P., & Barsalou, L.W. (2008). fMRI evidence for word association and situated simulation in conceptual processing. *Journal of Physiology—Paris*, *102*, 106–119.
- Sloutsky, V.M. (2003). The role of similarity in the development of categorization. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 246–251.
- Sloutsky, V.M., Lo, Y.F., & Fisher, A.V. (2001). How much does a shared name make things similar? Linguistic labels, similarity, and the development of inductive inference. *Child Development*, *72*, 1695–1709.
- Smith, E.E., & Medin, D.L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Smith, L.B. (2005). Action alters shape categories. *Cognitive Science*, *29*, 665–679.
- Smith, L.B., & Breazeal, C. (2007). The dynamic lift of developmental process. *Developmental Science*, *10*, 61–68.
- Solomon, K.O., & Barsalou, L.W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, *32*, 244–259.
- Spivey, M.J., Richardson, D.C., & Dale, R. (2009). Movements of eye and hand in language and cognition. In E. Morsella & J.A. Bargh (Eds.), *The psychology of action* (Vol. 2). New York, NY: Oxford University Press.
- Stevanoni, E., & Salmon, K. (2005). Giving memory a hand: Instructing children to gesture enhances their event recall. *Journal of Nonverbal Behavior*, *29*, 217–233.
- Tucker, M., & Ellis, R. (2004). Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychologica*, *116*, 185–203.
- Vermeulen, N., Niedenthal, P.M., & Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs. *Cognitive Science*, *31*, 183–192.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2008). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *The European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Zwaan, R., Stanfield, R.A., & Yaxley, R.H. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, *13*, 168–171.

B. . Liste des stimuli d'intérêts utilisés dans l'étude 1

| Concepts | Propriétés contextuelles | Modalité | Propriétés cibles | Modalité | Condition de transfert |
|---------------------------|---|---------------------|-------------------------------|----------|--------------------------------------|
| Biberon | on verse du lait dedans un peu comme une bouteille | Motrice Visuelle | a une sucette | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Bille | se fait rouler c'est tout rond | Motrice Visuelle | il faut la pousser | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Bouton | on l'enfile dans le trou il y a des trous dedans | Motrice Visuelle | c'est sur les vestes | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Bracelet | s'accroche plus petit qu'un collier | Motrice Visuelle | souvent avec des perles | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Ciseaux | sert à couper deux trous | Motrice Visuelle | avec des lames en fer | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Crayon | peut s'effacer a souvent une gomme | Motrice Visuelle | il y a une mine au bout | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Cuillère | remue le café en fer arrondi au bout | Motrice Visuelle | pour manger les yaourts | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Flute | on souffle pour jouer a des petits trous | Motrice Visuelle | on bouche les trous | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Lacet | pour faire des boucles comme un fil | Motrice Visuelle | sur les chaussures | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Livre | on l'ouvre pour lire il y a des images | Motrice Visuelle | on tourne les pages | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Pantalon | se boutonne sur les jambes | Motrice Visuelle | avec une fermeture éclair | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Peigne | pour se coiffer c'est plat | Motrice Visuelle | on le passe de haut en bas | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Pinceau | pour tremper dans la peinture avec un manche | Motrice Visuelle | se rince à l'eau | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Poupée | on l'habille comme une petite fille | Motrice Visuelle | a des cheveux | Visuelle | Modalité différente Même Modalité |
| Rouge à lèvres | se met sur la bouche il y a un couvercle | Motrice Visuelle | on tourne et ça sort | Motrice | Même Modalité Modalité différente |
| Violon | se met contre le menton avec un archet | Motrice Visuelle | on frotte sur les cordes | Motrice | Même Modalité Modalité différente |

ANNEXE II: ETUDE 2

A. Liste des stimuli utilisés dans l'étude 2

| Cible (images) | Amorce (mots) | |
|---------------------|---------------|------------|
| | Reliée | Non reliée |
| Balai à poils longs | rateau | pioche |
| Cadie | tondeuse | arrosoir |
| Calculatrice | piano | violon |
| Casque | bonnet | bouton |
| Chiffon | gomme | stylo |
| Clavier ordi | piano | violon |
| Clé | bouchon | gobelet |
| Ecouteurs | bonnet | bouton |
| Glace | banane | orange |
| Journal | plateau | assiette |
| Jumelles | bol | thé |
| Livre | plateau | assiette |
| Robinet | bouchon | gobelet |
| Selle de vélo | chaise | bureau |
| Télécommande | ciseaux | couteau |
| Tournevis | bouchon | gobelet |

B. Images des cibles à dénommer

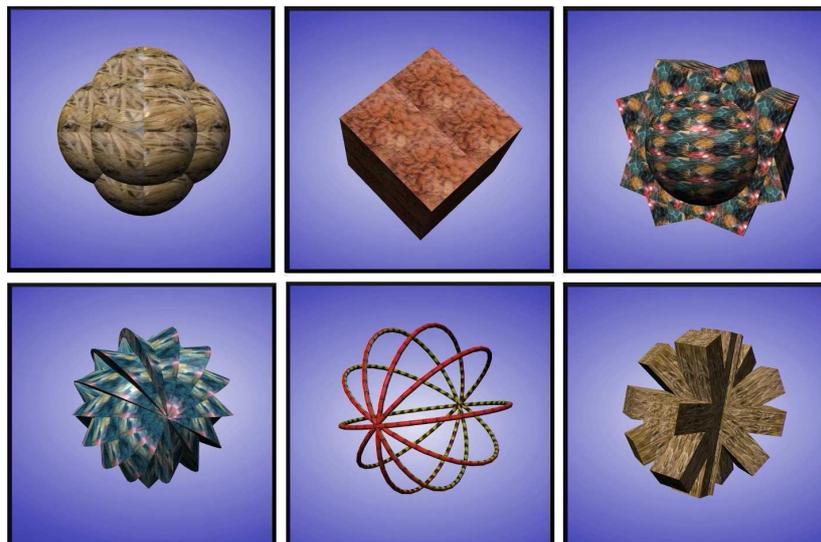


ANNEXE III: ETUDES 3, 5, 7

A. Photographies des sphères manipulées lors des entraînements



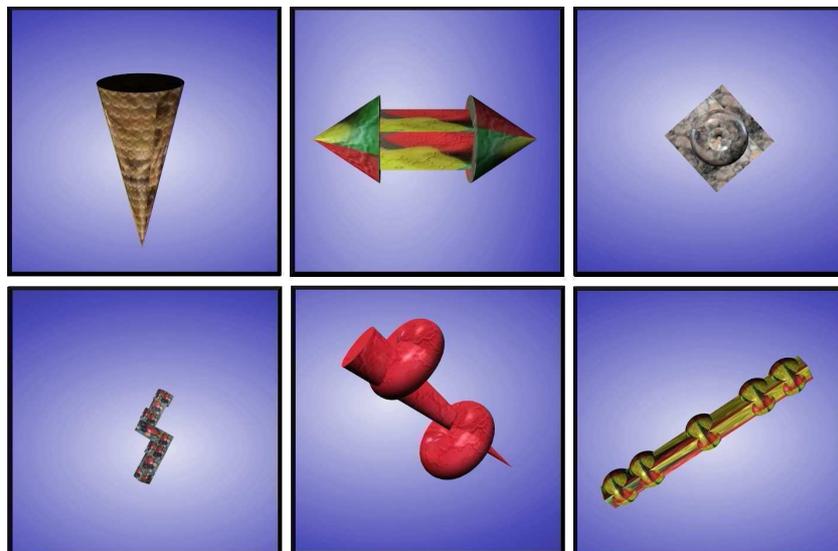
B. Exemples de stimuli « même volume », compatibles avec l'entraînement « saisir à pleine main »



C. Exemples de stimuli « même utilisation », compatibles avec l'entraînement « faire rouler »



D. Exemples de stimuli incompatibles



ANNEXE IV: ETUDE 4

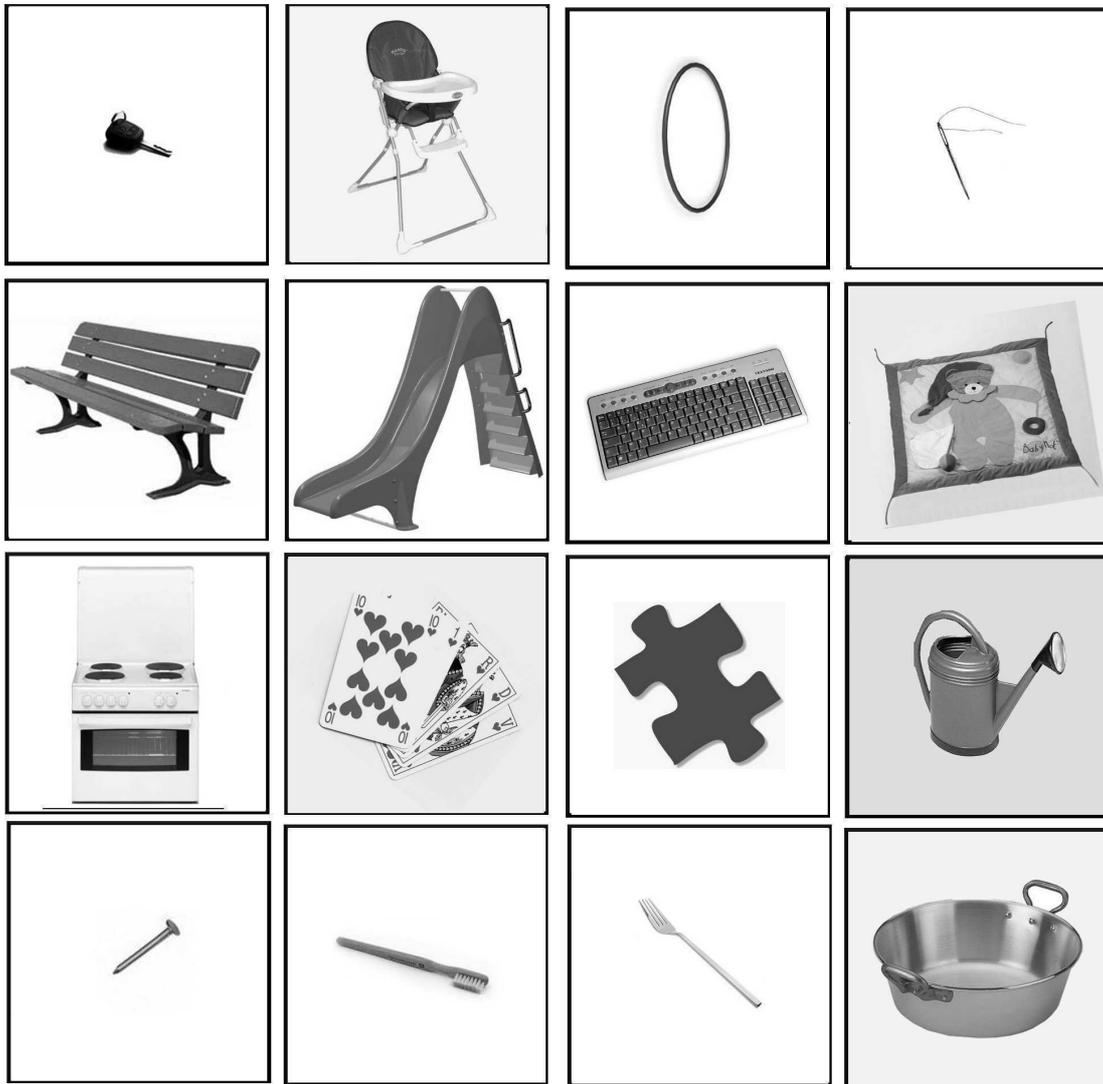
A. Stimuli « même volume », compatibles avec l'entraînement « saisir à pleine main », utilisés dans l'étude 4



B. Stimuli « même utilisation », compatibles avec l'entraînement « faire rouler », utilisés dans l'étude 4

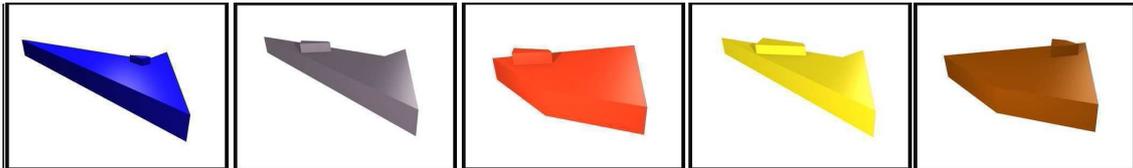


C. Stimuli incompatibles utilisés dans l'étude 4



ANNEXE V: ETUDE 6

A. Exemples de stimuli « préhensibles », compatibles avec l'entraînement « saisir à 2-3 doigts »



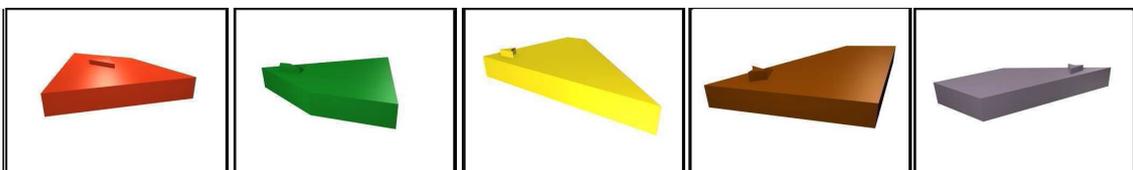
B. Exemples de stimuli « appuyables », compatibles avec l'entraînement « appuyer »



C. Exemples de stimuli « préhensibles et appuyables », compatibles avec les entraînements « saisir à 2-3 doigts » et « appuyer »



D. Exemples de stimuli incompatibles



RESUME

De nombreux travaux chez l'adulte attestent de l'implication des systèmes sensori-moteurs dans les activités conceptuelles. En adoptant une approche développementale, ce travail interroge la pertinence d'une approche incarnée de la formation des concepts et vise à fournir des éléments de compréhension quant à l'influence des actions sur l'organisation des connaissances conceptuelles. Les modèles classiques du développement conceptuel suggèrent des points de départ unitaire aux premières catégories. Le modèle de Nelson souligne l'importance des interactions entre individu et environnement, et celui de Quinn et Eimas au contraire met l'accent sur la similarité perceptive comme point de départ des premières catégories. Ces modèles unitaires sont pourtant remis en cause, notamment par la variabilité des informations prises en compte pour catégoriser les objets. En défendant une approche globale, différentielle et interactionniste, nous envisagerons dans un premier temps une distinction entre domaines d'appartenance des objets (objets naturels et fabriqués) pour lui préférer ensuite une distinction en termes de manipulabilité des objets. Considérant que les caractéristiques de manipulation des objets se reflètent dans l'organisation des catégories taxonomiques, nous proposerons que les activités conceptuelles des enfants soient relatives aux interactions sensorielles et motrices avec les objets. Chez l'adulte, un grand nombre de résultats attestent du rôle de l'action lors de l'accès aux concepts, appuyant les théories de la cognition incarnée (i.e., embodied cognition). Une série de travaux chez l'enfant de 5 à 9 ans a été conduite afin d'étudier, d'un point de vue développemental, les hypothèses d'une cognition incarnée. Deux premières études testent l'existence de simulations sensori-motrices lors du traitement conceptuel. Les cinq suivantes évaluent directement le rôle des actions sur la catégorisation. Sont opposés des gestes de saisie d'objets et des gestes d'utilisation. La saisie d'objets, à pleine main ou à 2-3 doigts, permet très clairement la prise en compte d'informations volumétriques, utilisées ensuite comme critère de catégorisation d'objets nouveaux. Les actions d'utilisation, faire rouler ou appuyer, ont une influence moindre, plus variable selon l'âge des enfants. L'analyse des mouvements oculaires lors de la recherche de cible parmi des distracteurs similaires quant à la saisie ou à l'utilisation permet finalement de distinguer l'influence des affordances à la saisie de celle des actions elles-mêmes. Du point de vue développemental, les affordances à la saisie seraient détectées automatiquement quelles que soient les actions effectuées, dès l'âge de 5 ans, tandis que les informations issues des actions seraient prises en compte peu à peu, celles issues des actions d'utilisation intervenant plus tardivement que celles issues des actions de saisie. En outre, les performances catégorielles semblent modulées par la concordance ou la discordance entre perception d'affordances à la saisie et les informations issues des actions effectuées.

ABSTRACT

In adults, a wide range of results argue that sensory-motor systems are involved during conceptual processing. Following a developmental approach, the dissertation asks whether the development of concepts might be embodied and deals with the influence of action on conceptual knowledge. Classical models of development suggest that conceptual knowledge develops from one mechanism. Nelson's position argues for a derivation of concepts from the interaction children have in their environment, while Quinn and Eimas rather suggest that first categories are build from visual similarity detection. However, children variability in taking account different information when categorizing challenges these models. We adopt a global, differential and interactionist approach to consider that variability in categorization might be explained by a distinction across domain (living vs. artifacts) but also by a distinction across manipulability of objects. We further consider that manipulability of objects is reflected in the organization of taxonomic knowledge to propose that children conceptual processing are grounded in the sensorial and motor interactions they have with objects. In adults, different studies show that actions influences conceptual processing; these studies give support to embodied cognition theories., We conducted seven studies in 5 – to 9- year- old children to asses the hypotheses of an embodied development of conceptual knowledge. Two studies test the hypothesis of sensori-motor simulations during conceptual processing. The five following studies directly assessed the influence of action on concepts was assessed in five other studies. We contrasted the influence of grasp and use. Grasp training, either with full hand or pinch, allow children to take into account volumetric information that is subsequently used as cue to categorize new objects. Use training, either push and roll or press, results in a weaker influence that differs with ages. Finally analyses of eye movement pattern during target identification among distractors that could be either grasped or pushed allow us to disentangle the influence of perceived grasp affordances from the influence of training by itself. From a developmental point of view; grasp affordances seem to be automatically detected by the age of five, and whatever the training condition. Information computed during training seems to be gradually taken into account from seven to nine, with use information influence occurring later than grasp information. Moreover, children performances might be modulated by the concordance or the discordance between the perception of grasp affordances and information from action training.