

LE ROLE DE L'ACTION DANS L'ACCES AUX CONCEPTS D'OBJETS

Apport de la neuropsychologie et des neurosciences cognitives

THE ROLE OF ACTION IN ACCESSING OBJECT CONCEPTS

Evidence from neuropsychology and cognitive neurosciences

Solène Kalénine

Solène Kalénine

Laboratoire de Psychologie et Neurocognition (CNRS UMR 5105)

Université Pierre Mendès France

BP 47.38040. Grenoble Cedex 09.

E-mail: solene.kalenine@upmf-grenoble.fr

Tel : (+33) 04 76 82 58 60

Fax: (+33) 04 76 82 78 34

Résumé

Les approches de la cognition incarnée stipulent que les concepts d'objets sont enracinés dans nos expériences sensori-motrices. Le traitement des concepts d'objets réactiverait automatiquement les expériences sensori-motrices associées à ces objets et reposerait par conséquent sur les réseaux neuronaux impliqués dans la perception et l'action. Dans ce cadre, l'expérience motrice aurait un rôle crucial dans la formation et le traitement de certains concepts. Cette proposition est soutenue par des arguments expérimentaux en neuroimagerie, en neuropsychologie et en psychologie cognitive. Les études en neuroimagerie révèlent que le traitement des concepts d'outils, avec lesquels nos interactions sont principalement motrices, active spécifiquement le système visuo-moteur impliqué dans les actions réelles et la sémantique de l'action. Ces activations spécifiques aux concepts d'outils semblent d'ailleurs davantage liées au fait qu'il s'agisse d'objets manipulables que d'objets fabriqués, conformément à certaines observations neuropsychologiques. En outre, la réactivation des expériences motrices influence le traitement conceptuel. Plusieurs études comportementales chez l'adulte et chez l'enfant indiquent que l'action a un impact sur l'accès aux concepts d'objets. Ces résultats soulèvent la question de l'émergence de connaissances contextuelles et fonctionnelles sur les objets à partir de l'expérience motrice et amènent de nouvelles perspectives sur l'évaluation et la rééducation des patients apraxiques.

Mots-clés : Formation de concept, Aptitudes motrices, Sémantique, Neurosciences, Apraxie

Abstract

Embodied views of concepts claim that object concepts are grounded in the sensori-motor system. According to such views, conceptual processing would automatically reactivate our sensori-motor experience with objects and would consequently rely on the neural networks involved in perception and action. In this framework, motor experience may have a crucial role in the formation and processing of particular kinds of concepts. In the present paper, we report some of the main arguments in the neuroimaging, neuropsychology and cognitive psychology fields which support this assumption.

First, we present the neuroimaging studies of conceptual processing. They revealed that in comparison to other conceptual categories such as animals, conceptual processing of tools specifically activates the visuo-motor system involved in action execution and action semantics. Moreover, tool-selective activations seem more deeply linked to object manipulability than object domain. Neuropsychological deficits toward artefact concept categories may actually be related to the impairment of manipulable object concepts. On the one hand, this points out the necessity to take into account object manipulability when assessing conceptual knowledge. On the other hand, it suggests that action experience could shape concept formation and processing at the neural and cognitive levels. Thus, we then review empirical findings from behavioural studies using compatibility and priming tasks which demonstrate that the reactivation of action information influences conceptual processing. Finally, we consider how contextual and functional knowledge could emerge from motor experience, given that context of use and function are essential for manipulable object concepts such as tools. The findings reported here raise the issue of the relationship between manipulation and function knowledge and provide new directions for the assessment and rehabilitation of apraxic patients.

Key words: Concept Formation, Motor Skills, Semantics, Neurosciences, Apraxia

Points clés:

Cette synthèse présente les arguments issus de la psychologie cognitive, de la neuropsychologie et de la neuroimagerie qui soutiennent l'idée d'un lien étroit entre les expériences motrices et l'accès aux concepts d'objets manipulables comme les outils. Ces travaux ouvrent de nouvelles pistes de réflexion sur le rôle de la manipulation dans la construction et la récupération des connaissances sur les objets que nous utilisons quotidiennement. Ils permettent également une relecture de certaines données neuropsychologiques (déficits sémantiques, apraxies) et apportent un regard nouveau sur l'évaluation des connaissances sur la manipulation et la fonction des objets chez l'adulte normal et cérébro-lésé.

Les approches traditionnelles de la cognition supposent que nos connaissances sur le monde sont stockées dans un espace sémantique amodal distinct des systèmes neuronaux impliqués dans la perception (*e.g.* vision, audition, olfaction), l'action (*e.g.* mouvement, proprioception) et les expériences émotionnelles. Depuis une dizaine d'années, les approches de la cognition incarnée ont proposé une nouvelle conception du fonctionnement cognitif et social [1]. Ces approches suggèrent au contraire que nos connaissances seraient enracinées dans les expériences sensori-motrices que nous avons vécues lors de nos interactions avec l'environnement. En accord avec une conception non-abstractive de la mémoire [voir 2], ces modèles envisagent que nos connaissances sur les objets ne sont pas *a priori* dissociées des épisodes dans lesquels nous avons interagi avec eux. Plusieurs groupes d'arguments appuient effectivement le rôle des expériences sensori-motrices dans la formation et l'accès aux concepts d'objets.

Dans cette synthèse, nous nous centrerons particulièrement sur le rôle de l'action sur le développement et le traitement conceptuel. Nous tenterons de préciser dans quelle mesure l'expérience motrice façonne l'accès aux concepts d'objets. Si les expériences motrices sont à la base des concepts d'objets, alors l'accès à ces concepts devrait automatiquement s'accompagner d'une réactivation neuronale des expériences motrices qui leur sont associées. Ce phénomène devrait être particulièrement à l'œuvre pour les objets avec lesquels nos interactions sont majoritairement motrices. Nous chercherons ensuite à évaluer dans quelle mesure la réactivation des expériences motrices aurait un impact sur l'accès aux connaissances sur les objets. Cette question nous amènera à reconsidérer le lien entre l'accès aux connaissances sur la manipulation et sur la fonction des objets, question fondamentale pour l'évaluation et la rééducation des patients apraxiques.

Recrutement du système visuo-moteur lors du traitement des concepts d'outils

En neuroimagerie, l'implication des systèmes sensori-moteurs dans le traitement conceptuel a été principalement mise en évidence en opposant différentes catégories d'objets. Cette méthode permet effectivement d'écarter les processus perceptifs et moteurs liés aux stimuli et à la tâche (communs à toutes les catégories) et d'isoler les mécanismes sensori-moteurs à la base de certains concepts. En ce qui concerne les déficits catégoriels spécifiques observés en neuropsychologie [3], la principale distinction étudiée oppose les catégories d'objets naturels, comme les animaux, aux concepts d'objets fabriqués, comme les outils. L'idée générale est que si le traitement conceptuel est sous-tendu par la réactivation de nos expériences sensori-motrices avec les objets, alors les réseaux neuronaux impliqués dans l'action avec les objets devraient être spécifiquement recrutés lors du traitement des concepts d'objets pour lesquels les expériences motrices d'utilisation sont dominantes comme les outils [pour deux revues de questions récentes, voir 4, 5].

La manipulation réelle des objets dépend du fonctionnement d'un large réseau fronto-pariétal. Au-delà de leur implication dans l'exécution des actions, les neurones des régions prémotrices et pariétales de ce réseau auraient des propriétés particulières qui leur permettraient d'être activés en dehors de toute action réelle. Tout d'abord, le système visuo-moteur aurait pour rôle de coder les transformations visuo-motrices nécessaires à l'exécution du geste. Pour cela, certaines populations de neurones dits « canoniques » des cortex préfrontal et pariétal seraient activées dès lors que le potentiel pour l'action (*i.e.* l'*affordance*) est reconnu, c'est-à-dire lorsqu'un objet potentiellement manipulable est détecté, ceci avant même qu'une action ne soit effectivement réalisée. En effet, lorsqu'on présente aux participants un objet manipulable tel qu'un outil, la simple vision de l'objet manipulable active le cortex prémoteur et le cortex pariétal postérieur, principalement dans l'hémisphère gauche. Ces activations fronto-pariétales sont le plus souvent associées à l'activation de

régions temporo-occipitales, notamment du gyrus temporal moyen postérieur, de la partie médiale du gyrus fusiforme et de la jonction occipito-temporale. Notons que même si au sens strict seuls les neurones des régions prémotrices et pariétales sont dotés de propriétés motrices (*i.e.* sont activés lors d'un mouvement réel), ces régions temporo-occipitales pourraient être associées au système visuo-moteur en raison de leurs interactions cruciales avec le cortex pariétal adjacent. Le second rôle majeur du système visuo-moteur serait de permettre la compréhension des actions réalisées par les autres. Cette fonction serait assurée grâce à la capacité de neurones dits « miroirs » des cortex prémoteur et pariétal [6]. Les neurones miroirs, qui pulseraient à la fois lors de l'exécution et lors de l'observation d'actions, apporteraient au système moteur une capacité de résonance. En effet, l'observation d'actions active les cortex prémoteur et pariétal inférieur notamment le gyrus supramarginal, principalement dans l'hémisphère gauche. Comme lors de la vision d'objets manipulables, l'activation des cortex prémoteur et pariétal durant l'observation d'actions s'accompagne fréquemment de l'activation de certaines régions temporo-occipitales telles que le gyrus temporal moyen et supérieur, le sillon temporal supérieur ou le gyrus occipital supérieur.

Dans l'ensemble, il semble donc qu'en l'absence d'action réelle, le système visuo-moteur puisse être recruté à partir d'informations de nature perceptive : la perception d'un objet manipulable (neurones canoniques) ou la perception d'une action (neurones miroirs). Par conséquent, si a) des régions motrices peuvent être recrutées en l'absence d'action réelle et b) les concepts sont enracinés dans nos expériences sensori-motrices, alors le système visuo-moteur devrait être impliqué dans le traitement des concepts d'action (*e.g.* les verbes d'action) et des concepts d'objets avec lesquels les interactions sont principalement motrices (*e.g.* les concepts d'outils). En accord avec cette hypothèse, la majorité des études qui ont comparé les régions impliquées dans le traitement sémantique de différentes catégories d'objets montre que le système visuo-moteur est spécifiquement recruté lors du traitement des

concepts d'outils. Globalement, la récupération de connaissances variées sur les outils (*e.g.* leur nom, leur catégorie, leur apparence, le lieu de rencontre) par rapport à d'autres objets active le cortex prémoteur gauche, le lobule pariétal inférieur gauche dont le gyrus supramarginal, le gyrus temporal moyen postérieur gauche et la partie médiale du gyrus fusiforme [pour deux revues de questions récentes, voir 7, 8]. Les mêmes régions soutiennent les connaissances liées à l'action. D'une part, le système visuo-moteur est largement activé lorsque les connaissances testées portent explicitement sur la manière de manipuler les objets. D'autre part, ce réseau est davantage impliqué lorsque les participants traitent des concepts d'action que lorsqu'ils traitent des concepts d'objets, que ce soit à partir d'images (*i.e.* images d'action *versus* images d'objets) ou de mots (*i.e.* verbes d'action *versus* noms d'objets). Dans l'étude d'Assmus et collaborateurs [9], des pictogrammes d'actions ou d'objets sont présentés aux participants. Leur tâche est d'indiquer s'ils connaissent le sens de chacun de ces pictogrammes. Les auteurs rapportent que le traitement des pictogrammes d'actions, par rapport aux pictogrammes d'objets, recrute spécifiquement le cortex prémoteur, le lobule pariétal supérieur et inférieur, une région du cortex temporo-occipital incluant le gyrus temporal moyen postérieur et l'aire visuelle sensible au mouvement (MT+). Le cortex temporal postérieur est juste antérieur à l'aire visuelle sensible au mouvement (MT+). Par conséquent, l'activation du cortex temporal postérieur gauche permettrait d'accéder aux propriétés de mouvement des objets [4]. Dans la région du cortex temporal postérieur, le gyrus temporal moyen postérieur serait particulièrement lié au mouvement inarticulé propre aux objets fabriqués tandis que le sillon temporal supérieur et le gyrus temporal supérieur postérieur seraient davantage sensibles au mouvement biologique. Le cortex temporal postérieur aurait donc un rôle clé dans le réseau cortical à l'œuvre dans le traitement des concepts d'objets et des actions qui leur sont associées.

L'ensemble de ces données corrobore les théories de la cognition incarnée et démontre que le système visuo-moteur est largement impliqué dans le traitement conceptuel. Les régions motrices des cortex frontal et pariétal ainsi que les régions temporo-occipitales associées sous-tendraient spécifiquement les concepts d'actions et les concepts d'outils, par rapport aux concepts d'animaux. Bien que les concepts d'outils et d'animaux diffèrent en termes de domaine (objets naturels et fabriqués), ce ne serait pas cette différence qui expliquerait la différence de traitement entre les concepts d'outils et d'animaux, mais bien la différence d'expérience sensori-motrice avec ces objets. Par conséquent, le fait qu'un objet soit manipulable ou non pourrait être plus à même de prédire les mécanismes à l'œuvre dans le traitement conceptuel que son domaine d'appartenance.

Le caractère manipulable des objets : un facteur déterminant du traitement conceptuel

En comparant le traitement conceptuel des objets fabriqués et des objets naturels, certaines études en neuroimagerie n'ont pas montré d'activation spécifique substantielle en réponse aux concepts d'objets fabriqués. Dans l'étude de Marques et collaborateurs [10], les participants réalisent une tâche de vérification de propriétés lors d'une étude par Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IMRf) impliquant des concepts d'objets naturels et fabriqués et des propriétés visuelles et de mouvement. Les mêmes propriétés sont utilisées pour les concepts d'objets naturels et fabriqués. Par exemple, « est long » est à la fois présenté avec [SERPENT] et [TUYAU], « coupe les arbres » avec [CASTOR] et [SCIE]. Les auteurs observent un recrutement spécifique de certaines régions cérébrales en fonction du type de propriétés, visuelles ou d'action, notamment au niveau du cortex temporo-occipital (visuel) et de la jonction temporo-pariétale (action) mais aucune activation spécifique aux catégories d'objets naturels ou fabriqués. Ainsi les connaissances semblent effectivement être organisées en termes de dimensions sensori-motrices (*e.g.* propriétés visuelles et d'action) et non en

termes de domaines puisque cette structuration ne semble pas donner lieu à un traitement différent des concepts d'objets naturels et fabriqués.

Or, les études qui ne sont pas parvenues à mettre en évidence de distinction cérébrale entre objets naturels et fabriqués semblent présenter une caractéristique méthodologique commune. Contrairement aux autres études, les catégories opposées ne sont pas restreintes aux animaux et aux outils. Dans l'étude de Marques *et al.* [10] par exemple, les objets naturels sont effectivement des animaux mais les catégories d'objets fabriqués sont diverses : outils, véhicules, meubles, vêtements, objets plus ou moins manipulables. Ces résultats sont concordants avec certaines dissociations neuropsychologiques qui ne respectent pas la dichotomie classique entre objets naturels et fabriqués [3]. D'une part, des doubles dissociations semblent exister au sein de chaque domaine. Par exemple, alors que le patient EW [11] est très altéré en dénomination d'images d'animaux, ses performances sont préservées pour les fruits et légumes. En revanche, le patient JJ [12] présente le profil inverse. D'autre part, certaines catégories, telles que les instruments de musique et les parties du corps, semblent avoir un statut particulier et peuvent se comporter comme des concepts naturels ou fabriqués, respectivement.

Filliter, McMuller et Westwood [13] ont cherché à dissocier l'influence du domaine de l'effet de la manipulabilité sur l'identification des objets. Ces auteurs partent du constat que les adultes normaux et les patients cérébro-lésés identifient habituellement plus rapidement et plus précisément les objets fabriqués que les objets naturels. Ils émettent l'hypothèse qu'il s'agirait en fait d'un avantage pour les objets manipulables qui serait masqué lorsque ce facteur est confondu avec le domaine des objets (*e.g.* animaux *versus* outils). Afin de mettre à l'épreuve cette hypothèse, ils proposent à des adultes normaux des couples mot-image correctement appariés ou non. Ces couples correspondent à des objets naturels manipulables (*e.g.* fruits et légumes) et non-manipulables (*e.g.* oiseaux) et à des objets fabriqués

manipulables (*e.g.* ustensiles) et non-manipulables (*e.g.* véhicules) en proportion équivalente. Les participants doivent indiquer si l'appariement est correct. Les auteurs rapportent à la fois un effet du domaine et de la manipulabilité des objets. Ils observent effectivement des temps d'identification plus courts pour les objets manipulables que non-manipulables, bien que l'effet s'inverse lorsque la familiarité des objets est contrôlée. De plus, ils notent un avantage des objets naturels par rapport aux objets fabriqués, contrairement à ce qui était couramment observé lorsque la manipulabilité n'était pas prise en compte. La manipulabilité des objets affecte également le traitement de différents types de liens conceptuels, et ceci dès 5 ans. La rapidité d'identification de relations catégorielles principalement fondées sur la ressemblance perceptive (*e.g.* labrador-caniche) et de relations thématiques fondées sur des liens contextuels/fonctionnels (*e.g.* bol-tartine) est comparée pour différentes catégories d'objets, naturels ou fabriqués, manipulables ou non-manipulables [14]. Chez les enfants de 5 à 7 ans comme chez les adultes, le traitement des relations contextuelles et fonctionnelles est plus rapide pour les objets manipulables que non-manipulables, qu'ils soient naturels ou fabriqués. Dans l'ensemble, ces résultats démontrent qu'au-delà du domaine, la manipulabilité influence l'identification et la catégorisation des objets. L'action aurait donc un rôle privilégié dans l'accès aux concepts d'objets manipulables.

Influence de l'action sur le traitement des concepts d'objets manipulables

Les études en neuroimagerie ont démontré que le traitement des concepts d'outils et des concepts d'action s'accompagne d'une activation du système visuo-moteur. Il reste à savoir si la réactivation des expériences motrices a un effet notable sur le comportement, si elle facilite le traitement sémantique des objets manipulables et si elle concerne tous les objets manipulables, naturels et fabriqués.

Au niveau comportemental, les principaux arguments proviennent des effets de compatibilité et d'amorçage liés à l'action. Tout d'abord, les données comportementales confirment que la simple vision d'un objet manipulable réactive les informations motrices qui lui sont associées. Les effets de compatibilité reportés par Tucker et Ellis [15] apportent des arguments décisifs dans ce sens. Dans une première expérience, ces auteurs présentent aux participants des photographies d'objets fabriqués manipulables. Ces objets possèdent une partie *affordante* (*i.e.* partie appropriée pour saisir l'objet, comme le manche d'une poêle) positionnée soit sur la gauche soit sur la droite de l'objet. De plus, les photographies sont présentées à l'endroit ou à l'envers. Les participants doivent déterminer si l'objet est à l'endroit ou à l'envers en appuyant sur deux touches différentes, l'une avec la main gauche, l'autre avec la main droite. L'effet d'interaction obtenu entre la main de réponse et la localisation de la partie *affordante* révèle que les temps de réponse sont plus rapides lorsque la main de réponse est compatible avec la localisation de la partie *affordante* (*i.e.* main gauche-*affordance* gauche/ main droite-*affordance* droite), même si ce facteur n'est pas pertinent pour réaliser la tâche (*i.e.* objet à l'endroit ou à l'envers). Cet effet de compatibilité a pu être généralisé à tous les objets manipulables, naturels et fabriqués. Dans une étude plus récente [16], les participants catégorisent des objets manipulables en objet naturel ou fabriqué à l'aide d'un dispositif de réponse nécessitant une saisie main entière et une pince fine. La saisie main entière implique les cinq doigts de la main avec le pouce opposable aux autres doigts alors que la pince fine correspond à une saisie entre le pouce et l'index. Les objets présentés induisent soit une saisie main entière (*e.g.* bouteille, concombre), soit une pince fine (*e.g.* allumette, cerise). Les temps de réponse pour catégoriser les objets sont plus rapides lorsque l'action induite par l'objet est compatible avec l'action exercée sur le dispositif de réponse.

Des résultats concordants sont obtenus avec des paradigmes d'amorçage. Myung, Blumstein et Sedivy [17] présentent auditivement des paires de mots amorce-cible. Les

participants réalisent une tâche de décision lexicale sur le mot cible. Un même nom d'objet cible est présenté une fois avec une amorce induisant la même manipulation (*e.g.* piano-clavier d'ordinateur) et une fois avec une amorce non-reliée (*e.g.* couverture-clavier d'ordinateur). Les résultats montrent que les temps de décision lexicale sont plus rapides lorsque l'amorce et la cible impliquent la même manipulation, confirmant l'impact de la réactivation des informations motrices sur l'accès au concept. Les auteurs retrouvent par ailleurs des résultats similaires dans une seconde expérience fondée sur la mesure des mouvements oculaires. Lorsque les participants doivent choisir parmi 4 images d'objets celle qui correspond au nom qu'ils viennent d'entendre, ils regardent plus souvent le distracteur partageant la même manipulation que les autres distracteurs.

En outre, les expériences d'amorçage indiquent que des représentations statiques ou dynamiques d'actions peuvent effectivement induire une résonance motrice et faciliter le traitement conceptuel ultérieur des objets manipulables. Certaines de ces études utilisent en tant qu'amorces des photographies de mains dans différentes positions de saisie. Craighero *et al.* [18] montrent des photographies de mains en position de pince fine dans différentes orientations. L'orientation de la main est compatible ou non avec la saisie d'une barre stimulus orientée dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse. Les participants réalisent une tâche de « go/no-go » : ils doivent saisir et tourner la barre stimulus en réponse à une des orientations de main. Les auteurs obtiennent un effet de congruence entre l'orientation de la main « amorce » et l'orientation de la barre stimulus : les temps de saisie sont plus courts lorsque la main est orientée dans le sens adapté pour la saisie de la barre. Des indices statiques d'action, comme la présentation de photographies de main en position de manipulation, peuvent ainsi induire une résonance motrice. L'expérience de Borghi *et al.* [19] va plus loin et montre que cette résonance motrice influence la catégorisation des objets manipulables. Les participants doivent catégoriser en naturel ou

fabriqué des images d'objets manipulables qui peuvent être saisis avec la main entière (*e.g.* marteau, pomme) ou avec une pince fine (*e.g.* stylo, cerise). Ces images d'objets sont amorcées par des images de main en position de saisie main entière ou de pince fine, préalablement associées avec le geste de saisie correspondant. Les participants catégorisent plus rapidement les objets lorsqu'ils induisent une saisie compatible avec la position de la main présentée en amorce.

L'influence de la réactivation des expériences motrices sur le traitement conceptuel des objets manipulables a pu être mise en évidence chez l'enfant à partir de 5 ans [20]. Dans cette étude, des représentations dynamiques d'actions sont utilisées en amorce. Il s'agit de films de 800ms durant lesquels un adulte mime l'utilisation d'un objet manipulable. Les objets cibles étudiés sont précédés d'amorces reliées ou non-reliées. Les enfants ont pour consigne de dénommer les objets cibles (Expérience 1, enfants de 9 à 12 ans) ou de catégoriser les objets cibles en objet de bricolage ou autre (Expérience 2, enfants de 5 à 11 ans). Un effet de facilitation est observé dans les deux expériences : les cibles reliées sont plus rapidement identifiées et catégorisées que les cibles non-reliées, particulièrement chez les plus jeunes enfants. Notons que l'ampleur de l'effet d'amorçage est toutefois moins importante dans la deuxième expérience (catégorisation) que dans la première expérience (identification). De plus, il n'est pas certain que l'effet d'amorçage observé soit associé à une activation automatique des informations motrices. En effet, l'objet cible est clairement identifiable au cours de la vidéo puisque le mime correspond à un objet précis (*e.g.* une personne en train de scier). L'hypothèse alternative selon laquelle l'effet d'amorçage est dû à une pré-activation de l'objet lui-même plutôt que de l'action ne peut pas être rejetée. Cette étude est cependant la première à avoir tenté de mettre en évidence l'influence de l'amorçage par l'action sur l'accès aux concepts d'objets chez l'enfant.

L'ensemble de ces résultats comportementaux démontre que les objets manipulables et les représentations d'actions induisent automatiquement la réactivation des expériences motrices qui leur sont associées. Ces informations liées à l'action influencent en retour le traitement des concepts d'objets manipulables. Ce phénomène semble généralisable à tous les objets manipulables, naturels ou fabriqués. Il serait également à l'œuvre au cours du développement. Ces arguments appuient le rôle crucial de l'action avec les objets dans la formation et le traitement des concepts d'objets manipulables. Cependant, quelle que soit la méthode utilisée, les études comportementales ont majoritairement cherché à réactiver certaines expériences motrices préalablement acquises par les participants. Peu de recherches ont directement manipulé l'expérience motrice afin de préciser dans quelle mesure une nouvelle activité motrice avec un objet inconnu façonne la manière de concevoir cet objet. L'expérience de Smith [21] réalisée sur des enfants de 2 ans et demi démontre néanmoins clairement l'influence de l'expérience sensori-motrice de l'enfant sur la catégorisation des objets. Dans une phase de familiarisation, elle présente aux enfants un « wug » : un nouvel objet de forme quasiment ronde agrémenté de deux sortes de poignées. Les enfants sont répartis dans cinq conditions. Dans la condition « action verticale », les enfants font bouger l'objet eux-mêmes selon un axe vertical (« le long de l'arbre »). Dans la condition « action horizontale », les enfants font bouger l'objet eux-mêmes selon un axe horizontal (« le long de l'herbe »). Dans les conditions « sans action », les enfants observent l'expérimentateur faire bouger l'objet horizontalement ou verticalement. Dans la dernière condition « sans action, sans mouvement », l'expérimentateur présente simplement l'objet à l'enfant en le dénommant. L'objet est dénommé dans toutes les conditions. En phase test, l'expérimentateur présente aux enfants deux versions allongées de l'objet utilisé en familiarisation : une version allongée horizontalement (objet long) et une version allongée verticalement (objet haut). Les enfants doivent choisir lequel des deux objets est un « wug ». Il y a trois essais de test. Les

résultats révèlent une nette préférence pour l'objet test congruent avec l'action réalisée en phase de familiarisation en condition « action » : les enfants qui ont fait bouger l'objet verticalement considèrent que l'objet test haut est un « wug » mais pas l'objet test long, et inversement. En revanche, aucune différence entre les choix pour les deux objets tests n'est observée dans les conditions « sans action » et « sans action, sans mouvement ». Ces résultats démontrent que dès 2 ans et demi, l'expérience sensori-motrice de l'enfant façonne la formation des catégories d'objets.

Nous pouvons alors nous demander quelle est la part des expériences motrices dans l'accès aux concepts d'objets manipulables. Nous savons que les connaissances contextuelles et fonctionnelles sont au cœur de la compréhension des objets fabriqués [22]. Lorsque le domaine et la manipulabilité des objets sont strictement contrôlés, les connaissances contextuelles et fonctionnelles sont plus facilement accessibles pour les objets manipulables [14]. Par conséquent, quels sont les liens entre l'expérience motrice et les connaissances sur le contexte d'utilisation et la fonction des objets ?

Expérience motrice et connaissances contextuelles et fonctionnelles

Des pistes de réflexion sur les rapports entre contexte et action proviennent des travaux à l'appui du principe d'instanciation [23]. Selon ce principe, les concepts de niveau surordonné (*e.g.* ustensiles) réactiveraient une collection d'exemplaires (*e.g.*, verre, fourchette, passoire, fouet). Ces exemplaires réactiveraient en retour les informations sensori-motrices qui leur sont associées. En accord avec les théories de la cognition incarnée, les concepts surordonnés ne seraient pas plus abstraits que les concepts de niveau de base, puisque l'accès à ces concepts se ferait *via* la réactivation des expériences perceptives et motrices avec les exemplaires de niveau de base. Le lien moins direct entre les concepts surordonnés et les expériences sensori-motrices entraînerait toutefois un coût de traitement,

qui permettrait de rendre compte de la supériorité du niveau de base classiquement reportée dans la littérature. En analysant des normes de génération de propriétés chez l'adulte, Marques [24] a comparé les attributs produits pour des concepts de niveau de base et de niveau surordonné sur plusieurs caractéristiques. Il remarque que concernant les concepts surordonnés, seulement 17 % des attributs générés sont communs à la majorité des exemplaires de la catégorie concernée (*e.g.* « a des roues » pour « véhicule »). Parallèlement, 15 % des attributs générés sont présents chez quelques exemplaires de la catégorie uniquement (*e.g.* « vole » pour « véhicule »). Ce résultat appuie l'idée que traiter un concept surordonné reviendrait à traiter des exemplaires.

Si les concepts surordonnés réactivent une collection d'exemplaires, ils devraient également transmettre des informations sur le contexte dans lequel cette collection d'exemplaires a été rencontrée. L'information contextuelle pourrait alors aider à relier ensemble des interactions sensori-motrices variables avec des objets différents. Elle faciliterait donc particulièrement l'accès aux concepts surordonnés et réduirait ainsi la supériorité relative du niveau de base. Par exemple, le contexte de la cuisine permettrait de relier divers ustensiles (*e.g.* verre, fourchette, passoire) que des expériences motrices différentes ne permettraient pas de regrouper directement. Dans l'une de leurs expériences, Murphy and Wisniewsky [25, expérience 2] présentent un nom de catégorie suivi d'une image durant 150 ms. Un point apparaît ensuite sur l'écran, et les participants doivent déterminer si l'objet qui était sur l'image à cet emplacement appartient à la catégorie mentionnée. Les temps de réponse et les erreurs sont enregistrés. Plusieurs facteurs sont manipulés : le nom de la catégorie peut être au niveau de base (*e.g.* marteau) ou au niveau surordonné (*e.g.* outils), l'image peut correspondre à un objet isolé ou à une scène (*i.e.* plusieurs objets dans un contexte) et l'objet indicé peut appartenir ou non à la catégorie mentionnée. Les résultats montrent une interaction entre le niveau du concept et le type d'image : l'avantage du niveau

de base est considérablement réduit lorsque l'objet est présenté dans son contexte par rapport à une présentation de l'objet isolé. De plus, lorsque l'objet à catégoriser est présenté dans une scène inappropriée [25, expérience 4], les performances catégorielles chutent davantage au niveau surordonné qu'au niveau de base.

Une expérience récente a permis de comparer directement l'effet de l'amorçage par le contexte et par l'action sur la catégorisation des objets manipulables au niveau de base et au niveau surordonné [26]. Des objets manipulables, naturels et fabriqués, sont amorcés soit par une photographie de main en position de manipulation de l'objet (amorçage action) soit par une scène dans laquelle l'objet pourrait être aisément rencontré (amorçage contexte). Les participants réalisent une tâche de décision catégorielle sur l'objet, soit au niveau de base (e.g. « une sorte de bol ? ») soit au niveau surordonné (« une sorte d'ustensile ? »). Dès 7 ans, l'effet de la condition d'amorçage interagit avec le niveau de catégorisation requis. L'information liée à l'action aide davantage l'accès aux concepts de niveau de base tandis que l'information contextuelle facilite davantage l'accès aux concepts surordonnés. Ces résultats sont concordants avec les variations de résultats observées entre les deux expériences de Mounoud *et al.* [20] : la taille de l'effet de l'amorçage par l'action est moindre lorsque la tâche implique de traiter le concept au niveau surordonné (e.g. catégorisation outils ou autre) par rapport au niveau de base (e.g. dénomination). L'ensemble de ces données suggère que le contexte dans lequel les objets sont rencontrés, notamment les scènes dans lesquelles les interactions avec les objets ont lieu, facilite le regroupement d'actions variées réalisées avec des objets manipulables divers et par conséquent aide à accéder aux concepts surordonnés d'objets manipulables. Des stratégies centrées sur l'utilisation des informations contextuelles pourraient par conséquent être envisagées pour faciliter la compréhension des concepts surordonnés, chez le jeune enfant et chez l'adulte cérébro-lésé.

Concernant les relations entre manipulation et fonction, elles sont toujours l'objet de débat dans les recherches actuelles. L'extraction de similarités fonctionnelles est-elle un mécanisme indépendant des expériences motrices ou bien peut-on envisager que les connaissances sur la fonction des objets émergent justement de nos actions avec ces objets ? Tout d'abord, l'existence de doubles dissociations neuropsychologiques entre les connaissances sur la manipulation et la fonction des objets suggèrent une relative indépendance entre la part du « comment faire » (*i.e.* manipulation) et du « pour quoi faire » (*i.e.* fonction) dans l'utilisation des objets manipulables. Buxbaum et Saffran [27] ont par exemple comparé les connaissances de patients cérébro-lésés (hémisphère gauche) apraxiques et non-apraxiques sur la manipulation et la fonction des objets. Le test proposé pour évaluer ces connaissances est un test d'appariement d'images sur la fonction et/ou la manipulation. La consigne est de déterminer lequel de deux objets est le plus similaire à l'objet cible. L'objet cible est similaire à l'un des objets de choix sur l'une ou l'autre des dimensions. Les patients apraxiques se montrent davantage altérés pour les items reliés par la manipulation (*e.g.* piano-machine à écrire) ainsi que dans les tâches évaluant les connaissances sur les outils et les parties du corps, alors que les patients non-apraxiques sont davantage déficitaires sur les items reliés par la fonction (*e.g.* tourne disque-radio) ainsi que dans les tâches évaluant les connaissances sur les animaux. Ces observations appuient une relative indépendance des réseaux neuronaux impliqués dans les connaissances sur la manipulation et la fonction des objets.

Les données issues des recherches en neuroimagerie apparaissent cependant moins nettes. Dans la majorité des études sur ce thème, les jugements sur la manipulation et sur la fonction des objets recrutent des régions similaires, bien que certaines de ces régions apparaissent plus fortement activées lorsque les connaissances concernent la manipulation. Boronat *et al.* [28] ont comparé la récupération de connaissances sur la fonction et sur la

manipulation des objets à l'aide d'une tâche d'appariement d'images ou de mots. Dans la condition « fonction », les participants doivent juger si les deux objets servent à la même chose. Dans la condition « manipulation », ils doivent décider si les deux objets se manipulent de la même manière. Les cortex prémoteur, pariétal inférieur et temporal postérieur de l'hémisphère gauche sont activés dans les deux conditions « fonction » et « manipulation », quels que soient les stimuli utilisés (mots ou images). Cependant, le lobule pariétal inférieur est davantage activé dans la condition « manipulation » que dans la condition « fonction ». Des résultats similaires sont obtenus par Kellenbach, Brett et Patterson [29]. La récupération des connaissances sur la fonction ne semble donc pas être sous-tendue par un réseau spécifique. Très récemment, Canessa *et al.* [30] ont toutefois pu mettre en évidence une activation spécifique du cortex temporal inférieur antérieur lors de la récupération des connaissances sur la fonction par rapport aux connaissances sur la manipulation. Le contraste inverse (*i.e.* manipulation *versus* fonction) est quant à lui associé à l'activation du réseau fronto-pariétal classiquement rapportée en réponse aux connaissances sur la manipulation. La spécificité des réseaux neuronaux sous-tendant les connaissances sur la fonction des objets reste cependant à être plus amplement explorée, puisque qu'il s'agit de la seule étude à ce jour ayant permis de montrer une réelle double dissociation entre manipulation et fonction en neuroimagerie.

Une manière un peu différente d'envisager la problématique manipulation/fonction serait de considérer que le système visuo-moteur sous-tend particulièrement les connaissances sur les actions dirigées vers des buts précis, c'est-à-dire la « manipulation pour la fonction », plutôt que les connaissances sur des actions sans objectif fonctionnel (*i.e.* saisie). Dans une étude en IMRf, Buxbaum et collaborateurs [31] observent le recrutement du système visuo-moteur lorsque les participants doivent juger si des objets manipulables peuvent être utilisés avec le geste qui leur est proposé. Le geste proposé peut correspondre uniquement à

l'utilisation de l'objet (*e.g.* calculatrice- geste de pointage) ou à la fois à l'utilisation et à la saisie de l'objet (*e.g.* marteau- geste de saisie main entière). Ils rapportent une plus forte activation du lobule pariétal inférieur gauche lorsque le geste d'utilisation est différent du geste de saisie (calculatrice-geste de pointage) que lorsqu'il s'agit du même geste (marteau-geste de saisie main entière). Cette région du système visuo-moteur serait particulièrement impliquée dans la manipulation fonctionnelle. Des résultats concordants proviennent d'études récentes qui montrent l'émergence d'activité au sein du système visuo-moteur à la suite de séances d'entraînement durant lesquelles les participants apprennent à utiliser de nouveaux objets. Dans l'étude par IRMf de Weisberg *et al.* [32], les participants réalisent dans l'aimant une tâche d'appariement d'objets inventés (*i.e.* appairer deux vues différentes d'un même objet) avant et après avoir participé à une séance d'entraînement. Durant la séance d'entraînement, les participants apprennent à utiliser la moitié de ces objets : ils les manipulent afin de réaliser une action précise (*e.g.* déplacer des morceaux de bois). Par rapport à la première session en IRMf, l'identification des objets lors de la deuxième session en IRMf s'accompagne d'une augmentation d'activité au niveau du cortex prémoteur, du cortex temporal postérieur et du sillon intrapariétal de l'hémisphère gauche, ceci particulièrement pour les objets ayant bénéficié de l'entraînement. On peut toutefois regretter que l'émergence d'activation au sein du système visuo-moteur à la suite de l'entraînement n'ait pas été directement mise en relation avec l'acquisition de nouvelles connaissances fonctionnelles sur ces objets sur le plan comportemental. Malgré l'absence de preuves comportementales directes, il semblerait que le système visuo-moteur sous-tende l'acquisition de nouvelles connaissances sur l'utilisation des objets manipulables, des connaissances qui relient intimement manipulation et fonction. Dans ce cas, l'évaluation précise de ces deux types de connaissances chez les patients qui semblent exclusivement touchés dans l'un des ces domaines apparaît primordiale.

Conclusion et perspectives

Chez l'enfant et chez l'adulte, les informations liées à l'action peuvent influencer l'accès aux concepts d'objets manipulables, comme les outils et les ustensiles que nous utilisons quotidiennement. Ces résultats comportementaux sont concordants avec l'activation des régions du système visuo-moteur lors du traitement conceptuel de tels objets. Cependant, le rôle de ces activations n'est toujours pas clairement défini : sont-elles nécessaires pour l'accès au sens ou simplement concomitantes ? Dans le cas particulier des concepts d'objets manipulables, la réactivation des informations motrices est-elle indispensable pour accéder à la fonction de l'objet ? Chez les patients apraxiques, nous avons vu que l'accès aux connaissances fonctionnelles est préservé (« à quoi ça sert ») alors que les connaissances sur la manipulation des objets sont largement altérées (« comment on s'en sert »). Ces données neuropsychologiques vont dans le sens d'un recrutement des informations motrices concomitant mais non nécessaire à l'accès à la fonction des objets. Cette conclusion mérite toutefois certaines réflexions.

Tout d'abord, nous savons que les connaissances fonctionnelles des apraxiques sont relativement préservées. Cela ne signifie pas qu'elles sont intactes, d'autant plus que les tests neuropsychologiques utilisés pour cette évaluation ne permettent pas toujours des mesures très fines. De plus, conclure sur le fonctionnement normal à partir des performances des patients reste toujours délicat puisqu'il est difficile de connaître l'ampleur des réorganisations fonctionnelles, sur le plan cérébral et sur le plan des stratégies compensatoires utilisées. Dans l'étude de Barde *et al.* [33], des patients apraxiques et non-apraxiques et des participants contrôles ont appris à associer de nouveaux gestes à de nouveaux objets. A la suite de la phase d'apprentissage, les patients réalisent une tâche d'appariement entre des vidéos mettant en scène les actions apprises et des objets. Ils doivent sélectionner parmi 4 objets au choix l'objet qui correspond à l'action. Bien que les performances globales des apraxiques soient

inférieures à celles des non-apraxiques et des contrôles, les patients apraxiques reconnaissent bien mieux les actions apprises pour les objets qui ont une structure physique *affordante* que pour les objets qui ne présentent pas de structure physique *affordante*. Cela signifie que les patients apraxiques sont capables d'utiliser les potentialités pour l'action des objets pour apprendre de nouvelles actions avec de nouveaux objets et que cette stratégie leur permet d'égaliser les performances des non-apraxiques. Dans cette expérience, seul l'apprentissage de connaissances relatives à la manipulation des objets a été testé. Nous pouvons néanmoins imaginer que d'autres stratégies similaires existent pour acquérir de nouvelles connaissances fonctionnelles.

Ensuite, les connaissances fonctionnelles pourraient regrouper différents types d'informations qui ne sont pas systématiquement tous évalués. Il semble important de distinguer des connaissances fonctionnelles spécifiques et générales. Les propriétés fonctionnelles spécifiques des objets fabriqués, elles-mêmes corrélées à des attributs perceptifs spécifiques, seraient cruciales pour l'identification des objets. Par exemple, le fait de servir à couper et d'avoir une lame serait fondamental pour le concept [COUTEAU]. Ces attributs fonctionnels spécifiques seraient d'ailleurs très proches des informations motrices, comme l'action de couper. En revanche, les connaissances relatives à la manipulation des objets seraient moins proches d'autres connaissances fonctionnelles plus générales, comme le fait qu'un couteau sert pour le repas, dans la cuisine, qui pourraient être assimilées à des connaissances contextuelles. Pourtant, les fonctions spécifiques et générales des objets sont rarement dissociées lors de l'évaluation des connaissances fonctionnelles. Il est possible d'envisager que les connaissances fonctionnelles générales soient plus proches des informations contextuelles et plus éloignées des expériences motrices et des connaissances sur la manipulation des objets. Il semble donc important de distinguer ces deux types de

connaissances fonctionnelles lors des évaluations, que ce soit chez le patient cérébro-lésé ou chez l'adulte sain.

Enfin, les connaissances relatives à la manipulation des objets ne sont pas les seules informations dont nous disposons sur un objet familier. Même si les expériences motrices ont un poids prépondérant dans la compréhension des objets manipulables, elles sont associées à d'autres types d'informations sensori-motrices, notamment à des informations visuelles qui pourraient également aider à accéder aux connaissances sur l'utilisation des objets [33]. Ces informations multimodales sont elles-mêmes très liées au langage. Même si les simulations motrices ne sont pas effectives chez les patients apraxiques, d'autres modalités pourraient être sollicitées et permettre de récupérer les connaissances fonctionnelles. Cette hypothèse soulève la question de l'émergence des connaissances fonctionnelles à partir de l'expérience motrice. Si la récupération des connaissances fonctionnelles peut être relativement indépendante de la préservation des informations sur la manipulation des objets, est-ce le cas lorsque nous apprenons à nous servir d'un nouvel objet ? Les études en neuroimagerie impliquant des objets inventés [32] montrent effectivement une augmentation de l'activité du système visuo-moteur après que les participants aient appris l'utilisation fonctionnelle de ces nouveaux objets. En utilisant des paradigmes d'apprentissage d'utilisation de nouveaux objets, il serait possible d'approfondir la question de l'émergence des connaissances fonctionnelles à partir de l'expérience motrice. Des recherches dans ce sens permettraient en outre de préciser la part des autres informations sensorielles, notamment visuelles dans l'accès aux concepts d'objets manipulables et d'envisager de nouvelles pistes évaluatives et rééducatives pour les patients présentant des difficultés à utiliser les objets dans la vie quotidienne.

Références bibliographiques

- [1] Barsalou, L. W. Grounded Cognition. *Annu Rev Psychol* 2008; 59: 617-45.
- [2] Rousset, S. Les conceptions "système unique" de la mémoire : aspect théorique. *Revue de neuropsychologie* 2000; 10: 30-56.
- [3] Capitani, E., Laiacona, M., Mahon, B. & Caramazza, A. What are the facts of category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cogn Neuropsychol* 2003; 20: 213-261.
- [4] Beauchamp, M. S. & Martin, A. Grounding object concepts in perception and action: evidence from fMRI studies of tools. *Cortex* 2007; 43: 461-8.
- [5] Noppeney, U. The neural systems of tool and action semantics: A perspective from functional imaging. *J Physiol (Paris)* 2008; 102: 40-49.
- [6] Rizzolatti, G. & Craighero, L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci* 2004; 27: 169-92.
- [7] Gerlach, C. A review of functional imaging studies on category specificity. *J Cogn Neurosci* 2007; 19: 296-314.
- [8] Martin, A. The representation of object concepts in brain. *Annu Rev Psychol* 2007; 58: 25-45.
- [9] Assmus, A., Giessing, C., Weiss, P. H. & Fink, G. R. Functional interactions during the retrieval of conceptual action knowledge: an fMRI study. *J Cogn Neurosci* 2007; 19: 1004-12.
- [10] Marques, J. F., Canessa, N., Siri, S., Catricala, E. & Cappa, S. Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Res* 2008; 1194: 90-9.
- [11] Caramazza, A. & Shelton, J. R. Domain-specific knowledge systems in the brain the animate-inanimate distinction. *J Cogn Neurosci* 1998; 10: 1-34.
- [12] Hillis, A. E. & Caramazza, A. Category-specific naming and comprehension impairment: a double dissociation. *Brain* 1991; 114: 2081-94.
- [13] Filliter, J. H., McMullen, P. A. & Westwood, D. Manipulability and living/non-living category effects on object identification. *Brain Cogn* 2005; 57: 61-5.
- [14] Kalénine, S. & Bonthoux, F. Object manipulability affects children and adults' conceptual processing. *Psychon Bull Rev* 2008; 15: 667-672.
- [15] Tucker, M. & Ellis, R. On the relations between seen objects and components of potential actions. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1998; 24: 830-46.
- [16] Tucker, M. & Ellis, R. Action priming by briefly presented objects. *Acta Psychol* 2004; 116: 185-203.
- [17] Myung, J.-Y., Blumstein, S. E. & Sedivy, J. C. Playing on the typewriter, typing on the piano: Manipulation knowledge of objects. *Cognition* 2006; 98: 223-243.
- [18] Craighero, L., Bello, A., Fadiga, L. & Rizzolatti, G. Hand action preparation influences the responses to hand pictures. *Neuropsychologia* 2002; 40: 492-502.
- [19] Borghi, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S. & Nicoletti, R. Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? Studies with hand primes. *Neurosci Lett* 2007; 411: 17-21.
- [20] Mounoud, P., Duscherer, K., Moy, G. & Perraudin, S. The influence of action perception on object recognition: a developmental study. *Dev Sci* 2007; 10: 836-52.
- [21] Smith, L. B. Action alters shape categories. *Cogn Sci* 2005; 29: 665-679.
- [22] McRae, K., Cree, G. S., Seidenberg, M. S. & McNorgan, C. Semantic feature production norms for a large set of living and nonliving things. *Behav Res Methods* 2005; 37: 547-59.
- [23] Heit, E. & Barsalou, L. W. The instantiation principle in natural categories. *Memory* 1996; 4: 413-451.

- [24] Marques, J. F. The general/specific breakdown of semantic memory and the nature of superordinate knowledge: Insights from superordinate and basic level feature norms. *Cogn Neuropsychol* 2007; 24: 879-903.
- [25] Murphy, G. L. & Wisniewski, E. J. Categorizing objects in isolation and in scenes: What a superordinate is good for. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1989; 15: 572-586.
- [26] Kalénine, S., Bonthoux, F. & Borghi, A. How action and context priming influence categorization: a developmental study. *British Journal of Developmental Psychology* in press.
- [27] Buxbaum, L. J. & Saffran, E. M. Knowledge of object manipulation and object function: dissociations in apraxic and nonapraxic subjects. *Brain Lang* 2002; 82: 179-99.
- [28] Boronat, C. B., Buxbaum, L. J., Coslett, H. B., Tang, K., Saffran, E. M., Kimberg, D. Y. et al. Distinctions between manipulation and function knowledge of objects: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Brain Res Cogn Brain Res* 2005; 23: 361-373.
- [29] Kellenbach, M. L., Brett, M. & Patterson, K. Actions speak louder than functions: the importance of manipulability and action in tool representation. *J Cogn Neurosci* 2003; 15: 30-46.
- [30] Canessa, N., Borgo, F., Cappa, S. F., Perani, D., Falini, A., Buccino, G. et al. The different neural correlates of action and functional knowledge in semantic memory: an fMRI study. *Cereb Cortex* 2008; 18: 740-51.
- [31] Buxbaum, L. J., Kyle, K. M., Tang, K. & Detre, J. A. Neural substrates of knowledge of hand postures for object grasping and functional object use: evidence from fMRI. *Brain Res* 2006; 1117: 175-85.
- [32] Weisberg, J., van Turenout, M. & Martin, A. A neural system for learning about object function. *Cereb Cortex* 2007; 17: 513-21.
- [33] Barde, L. H., Buxbaum, L. J. & Moll, A. D. Abnormal reliance on object structure in apraxics' learning of novel object-related actions. *J of the International Neuropsychology Society* 2007; 13: 997-1008.