



HAL
open science

Contribution du système sensori-moteur au traitement sémantique des verbes d'action

Christel Bidet-Ildei, Victor Francisco

► **To cite this version:**

Christel Bidet-Ildei, Victor Francisco. Contribution du système sensori-moteur au traitement sémantique des verbes d'action. Yann Coello. Corps, cerveau et processus mentaux : les fondements sensorimoteurs de la cognition, Dunod, pp.161-168, 2024, Univers Psy, 978-2-10-085763-0. <hal-04684978>

HAL Id: hal-04684978

<https://hal.science/hal-04684978v1>

Submitted on 5 Sep 2024

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

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



HAL Authorization

Contribution du système sensorimoteur au traitement sémantique des verbes d'action

Christel Bidet-Ildei^{1,2} & Victor Francisco^{1,3,4}

¹ Université de Poitiers, Université de Tours, CNRS, Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, Poitiers, France

² Institut Universitaire de France (IUF), Paris, France

³ Université de Poitiers, ISAE-ENSMA, CNRS, PPRIME, Poitiers, France

⁴ Melioris, Centre de Médecine Physique et de Réadaptation Fonctionnelle Le Grand Feu, Niort, France

Résumé

Ce chapitre a pour objectif de rendre compte des liens existant entre le traitement des verbes d'action et l'action chez l'adulte, que cette action soit réellement produite, simulée ou simplement observée. Nous aborderons les expérimentations qui ont permis d'objectiver et de caractériser ce lien action-langage, que ce soit d'un point de vue neurophysiologique ou comportemental.

1. Propos introductifs

Historiquement le langage était uniquement considéré comme une fonction de haut niveau. Ainsi, au cours du développement, les humains emmagasinaient petit à petit des symboles abstraits simples et complexes qu'ils seraient capables de combiner de différentes manières selon un principe de récursivité au sein d'une grammaire universelle innée (Chomsky, 1975). A la fin des années 1990, cette conception du langage basée uniquement sur une combinaison de symboles abstraits a été remise en cause par la théorie de la cognition incarnée. Selon cette théorie, le langage, comme l'ensemble des activités de l'être humain, forme un tout indissociable dont l'origine serait les expériences motrices et perceptives de l'individu (Barsalou, 1999). Ainsi, la compréhension de mots ou de phrases ne passerait pas par l'activation de représentations abstraites mais bien par la ré-activation d'expériences sensorimotrices passées (Briglia et al., 2018; Versace et al., 2014). Ce chapitre s'inscrit dans cette perspective théorique et traite plus particulièrement de l'influence du système sensorimoteur dans la compréhension des verbes d'action.

2. Les preuves du lien action-langage

Depuis le début des années 2000, de nombreuses études se sont intéressées au lien existant entre système sensorimoteur et traitement des verbes d'action, que ce soit d'un point de vue neurophysiologique ou comportemental (Bidet-Ildei et al., 2020; Fischer & Zwaan, 2008).

2.1. Les preuves neurophysiologiques du lien action-langage

Suite à la découverte chez le singe de neurones miroirs dans la partie rostrale du cortex pré-moteur inférieur au début des années 1990 (Di Pellegrino et al., 1992), plusieurs études ont pu mettre en évidence l'existence d'une équivalence fonctionnelle entre la production et l'observation des actions chez l'homme (voir Bonini et al., 2022 pour une revue récente).

D'autre part, le réseau cérébral intégrant ces neurones miroirs, appelé « système miroir », s'activerait également lors de la simulation d'une action (voir Hardwick et al., 2018 pour une revue) et lors du traitement d'un verbe d'action (voir Giacobbe et al., 2022 pour une revue récente). Concernant plus spécifiquement l'activation d'un réseau cérébral commun entre l'action et le traitement de verbes d'action, deux études ont marqué la littérature en comparant de manière directe les zones cérébrales activées lors du traitement de verbes d'action, de la production d'actions (Hauk et al., 2004) ou de l'observation d'actions (Aziz-Zadeh et al., 2006) grâce à la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Dans l'étude de Hauk et al. (2004), il a été demandé à 14 participants adultes de lire des verbes d'action en lien avec le visage (e.g., lécher), les mains (e.g., gratter), ou les jambes (e.g., donner un coup de pied), puis de réaliser des actions impliquant ces différentes parties du corps. L'analyse de l'activité cérébrale a permis de montrer que la production des actions et le traitement de verbes décrivant ces actions partagent des réseaux cérébraux communs avec une implication du système moteur (cortex moteur et pré-moteur et gyrus frontal inférieur gauche) lors de la lecture passive de verbes d'action, en plus des activations directement reliées au traitement de mots écrits (gyrus fusiforme gauche et cortex temporal inférieur gauche). Dans le même esprit, Aziz-Zadeh et al. (2006) ont demandé à des participants adultes de lire des phrases contenant des verbes d'action sollicitant la bouche (e.g., mordre dans une banane), les mains (e.g., attraper un stylo) ou les pieds (e.g., appuyer sur la pédale du piano) et d'observer des actions sollicitant ces mêmes parties du corps. Les résultats ont permis de montrer l'activation d'aires visuelles corticales et sous-corticales durant l'observation d'actions et la lecture des phrases, avec une activation plus marquée dans la voie visuelle dorsale lors de l'observation d'actions. Par ailleurs, l'observation d'actions impliquait également l'activation du cortex pré-moteur ventral de manière bilatérale. La lecture quant à elle, impliquait des activations importantes au niveau du gyrus frontal inférieur, du cortex pré-moteur et du gyrus pré-central de l'hémisphère gauche, ainsi que des activations plus modérées au niveau du gyrus frontal inférieur droit. De surcroît, la comparaison individuelle des activations du cortex pré-moteur lors de l'observation d'actions et de la lecture de verbes d'action a permis de montrer une équivalence entre ces deux activités au niveau de l'hémisphère gauche. Ainsi, ces deux études suggèrent fortement une équivalence entre produire une action, observer une action et traiter des verbes en lien avec ces actions.

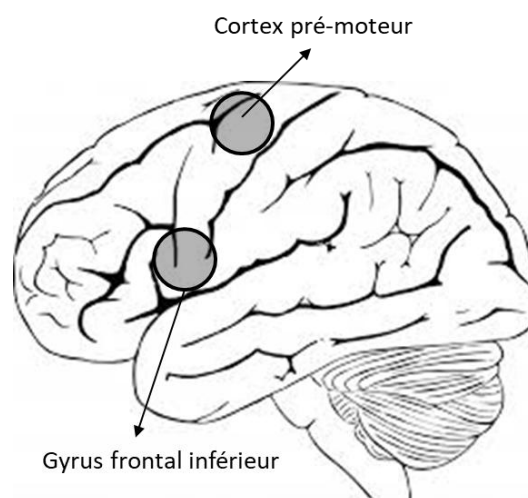


Figure 1 : Zones cérébrales activées lors du traitement de verbes d'action, de la production d'actions et de l'observation d'actions (Aziz-Zadeh et al., 2006 ; Hauk et al., 2004).

Par ailleurs, les études menées par Hauk et al. (2004), et Aziz-Zadeh et al. (2006) ont également permis de révéler l'aspect somatotopique des activations cérébrales liées au traitement des verbes d'action en mettant en évidence des activations du cortex moteur et pré-moteur directement reliées à la zone du corps sollicitée dans l'action. Par exemple, la partie du cortex pré-moteur qui contrôle les mouvements de la main est davantage activée lorsque l'on doit traiter le verbe « écrire » par rapport au verbe « sauter » qui lui va davantage activer la partie du cortex pré-moteur qui contrôle les jambes. Cette activation sensorimotrice reliée au traitement du langage d'action serait directement en lien avec l'expérience sensorimotrice. Par conséquent, on observe des activations plus importantes au niveau du cortex pré-moteur et du gyrus frontal inférieur gauche lorsque les participants écoutent des phrases d'action décrivant une activité physique dans laquelle ils sont experts (Lyons et al., 2010). Toutefois, cette activation sensorimotrice dépendrait de la tâche effectuée. Ainsi, lorsque la tâche, n'implique pas explicitement un traitement sémantique (e.g., tâche de décision lexicale), le système sensorimoteur ne serait pas activé (Popp et al., 2019).

2.2. Les preuves comportementales du lien action-langage

D'un point de vue comportemental, de nombreux travaux confirment le rôle du système sensorimoteur dans le traitement des verbes d'action (voir Fischer & Zwaan, 2008; Jirak et al., 2010, pour des revues). Par exemple, il a été montré que le traitement simultané d'un verbe d'action et la réalisation d'une action entraînait des perturbations légères du geste (Boulenger et al., 2006) suggérant un partage de ressources entre les deux activités. Ceci est également confirmé dans des expériences où les deux activités sont réalisées l'une après l'autre à travers l'apparition d'un effet d'amorçage. Par exemple, le traitement d'une phrase impliquant une rotation de la main (e.g., « elle tourne le bouton du volume vers le haut ») facilite l'exécution subséquente d'un geste de rotation de la main (Glenberg & Kaschak, 2002; Zwaan & Taylor, 2006). Cet effet serait dépendant de l'intentionnalité de l'action motrice réalisée, suggérant que c'est la motricité volontaire qui partage des réseaux communs avec le traitement de verbes d'action (Rueschemeyer et al., 2010). Par ailleurs, le traitement d'un verbe d'action modifie la capacité des participants à anticiper la suite d'une action (Springer et al., 2012; Springer & Prinz, 2010). Ainsi, Springer et al. (2010) ont montré que la précision de l'anticipation visuelle de l'action, c'est-à-dire la capacité à prédire la suite d'une séquence d'actions (Graf et al., 2007) dépendait de la catégorie du mot présenté en amorce (nom concret vs verbe d'action, verbe d'action statique vs dynamique, verbe d'action lente vs rapide), mettant ainsi en évidence l'existence d'un lien entre traitement du langage d'action et simulation de l'action. D'autres études ont confirmé le fait que le traitement d'un verbe d'action impliquait une simulation motrice en montrant par exemple que le traitement d'une phrase d'action entraînait une activation motrice périphérique de la main (Aravena et al., 2012). Dans cette expérience, les participants devaient écouter des phrases affirmatives ou négatives comprenant ou non des verbes d'action tout en tenant un capteur de force dans leur main droite. Afin de maintenir l'attention des participants, il leur était demandé de compter le nombre de fois où un nom de pays apparaissait dans les phrases. Les résultats ont montré une augmentation de la force de serrage du capteur 300 ms après que le verbe d'action était prononcé, suggérant bien qu'une activation du système sensorimoteur accompagne le traitement de verbes d'action. Par ailleurs, cet effet n'existe pas pour les phrases négatives. Le contexte linguistique aurait donc directement un impact sur cette activation sensorimotrice

(Aravena et al., 2014). Cet effet de contexte linguistique a également été retrouvé lors d'expériences testant l'impact du traitement de verbes d'action sur la capacité à détecter une séquence animée représentant une action humaine (Bidet-Ildei, Gimenes, Toussaint, Almecija, et al., 2017). Ainsi, lorsque l'on demande à un participant de détecter la présence d'un mouvement humain dans une séquence animée de points, sa performance est améliorée lorsqu'il traite au préalable un verbe d'action congruent avec l'action présente dans la séquence animée (Bidet-Ildei et al., 2011). Par exemple, les participants seront plus rapides à détecter l'action de courir lorsqu'au préalable ils auront lu le verbe « courir » plutôt qu'un verbe incongruent (« frapper ») ou neutre (« penser »). Cependant, cet effet dépend du contexte linguistique dans lequel le verbe d'action est inséré (voir Figure 2 à gauche). Ainsi, si le verbe d'action est inclus dans une phrase impossible (« le terrain court sur le footballer ») ou dans une phrase douloureuse (« l'animateur marche sur des chardons ») plutôt que dans une phrase possible (« le footballer court sur le terrain »), ou neutre (« l'animateur marche sur de l'herbe »), l'effet de congruence lors de la perception subséquente d'un mouvement humain est diminué (Bidet-Ildei, Gimenes, Toussaint, Almecija, et al., 2017) ou disparaît complètement (Bidet-Ildei, Gimenes, Toussaint, Beauprez, et al., 2017). L'ensemble de ces expérimentations montre donc que le système sensorimoteur est activé lors du traitement de verbes d'action même si cette activation pourrait dépendre de certains facteurs dont notamment le contexte linguistique dans lequel le verbe est inséré. De manière intéressante, le lien entre action et traitement des verbes d'action n'existe pas que dans un seul sens mais serait bidirectionnel entraînant également un effet de l'action sur le traitement subséquent du langage d'action. La première étude s'étant intéressée à cette bidirectionnalité a été réalisée par Liepelt et ses collaborateurs (Liepelt et al., 2012). Dans cette étude, les auteurs ont mené deux expériences en parallèle, l'une visant à étudier les effets du traitement de verbes d'action sur la production des actions et l'autre, les effets de l'observation d'action sur la production de verbes d'action. Grâce à ces deux expériences, ils ont pu montrer que la réalisation d'une action d'ouverture ou de fermeture de la main est plus rapide lorsque les participants ont traité un verbe congruent avant la réalisation de l'action, et de la même manière, la prononciation d'un verbe d'action est plus rapide lorsqu'elle coïncide avec l'observation en amont d'une action congruente plutôt qu'incongruente. A la suite de cette étude, de nombreuses expériences ont confirmé ce lien entre action et langage en utilisant notamment des paradigmes d'observation d'actions. Ainsi, il a été montré que le traitement d'un verbe d'action est plus rapide lorsqu'il suit l'observation d'une action congruente que ce soit sous la forme d'une image, d'une vidéo ou d'une séquence animée de points (voir Bidet-Ildei et al., 2020 pour une revue). Par exemple, les participants vont être plus rapides à dire que le mot « sauter » est un verbe d'action lorsqu'ils auront vu au préalable une image statique (Beauprez et al., 2018), ou une séquence animée de points représentant l'action de sauter (Beauprez & Bidet-Ildei, 2017) plutôt qu'une amorce incongruente.

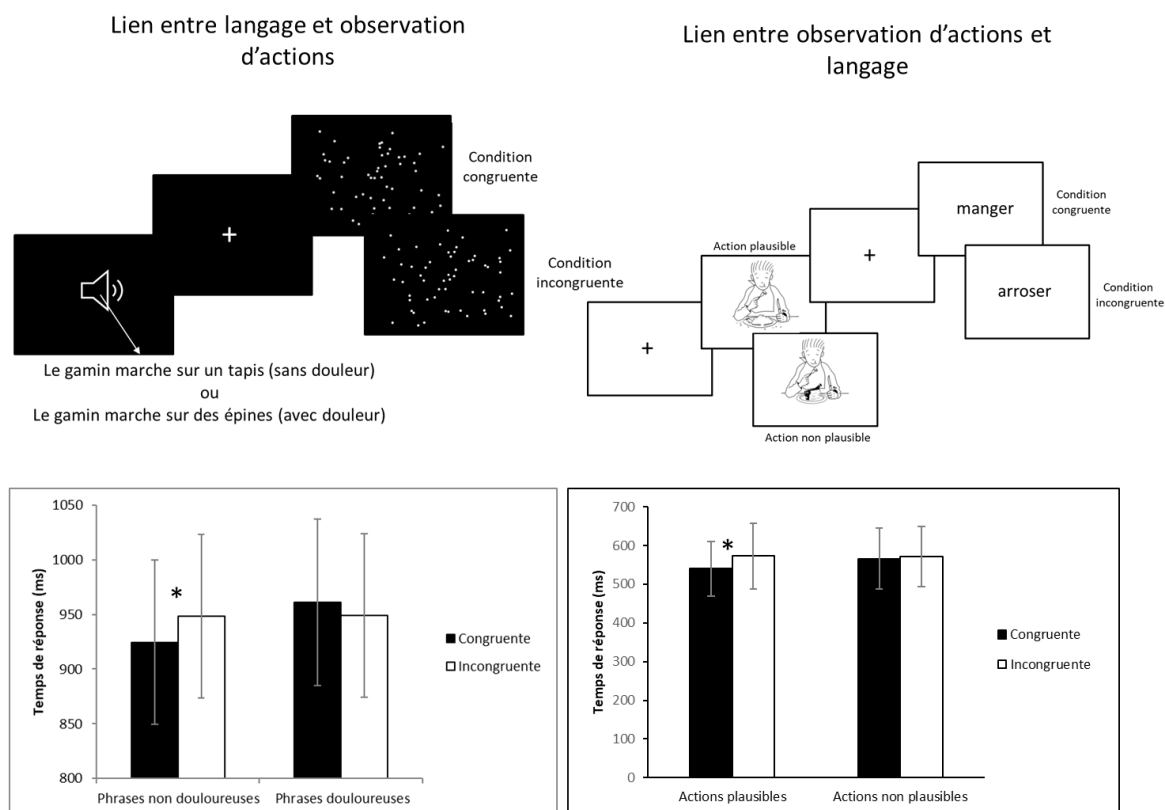


Figure 2 : Procédure et résultats obtenus dans deux expériences testant l'effet du contexte sur le lien langage-action (à gauche) et le lien action-langage (à droite). Les graphiques représentent les valeurs moyennes obtenues et les barres d'erreur les écarts-types. * représente la présence d'une différence significative à $p < .05$. Quel que soit le lien envisagé, les résultats montrent de meilleures performances en situations congruentes plutôt qu'incongruentes mais seulement lorsque le contexte rend l'action possible ou non douloureuse. Adapté de Bidet-Ildei, Gimenes, Toussaint, Almecija, et al., 2017 et de Beauprez et al., 2018.

L'aspect sensorimoteur serait déterminant dans cet effet puisqu'il disparaît si l'action présentée n'est pas biologique, que ce soit du point de vue cinématique (par exemple un mouvement présentant une cinématique non biologique, Beauprez & Bidet-Ildei, 2018) ou du point de vue de l'acteur réalisant cette action (par exemple un robot au lieu d'un humain, Beauprez et al., 2019). De manière remarquable et en parfait miroir avec les effets observés sur le lien langage-action, le lien action-langage est également dépendant du contexte dans lequel l'action est réalisée (voir Figure 2 à droite). Ainsi, si l'action observée est réalisée dans un contexte non plausible (par exemple « arroser un ordinateur » au lieu de « arroser une plante »), l'effet d'amorçage disparaît (Beauprez et al., 2018). Cet effet de contexte s'expliquerait directement par l'expérience sensorimotrice des participants puisque le lien action-langage pourrait réapparaître lorsque l'on entraîne des participants à observer ou réaliser des actions improbables (Beauprez et al., 2020).

Enfin, le rôle du système sensorimoteur a également été démontré dans une étude visant à évaluer l'impact d'une immobilisation de courte durée sur le traitement de verbes d'actions (Bidet-Ildei, Meugnot, Beauprez, Gimenes, et al., 2017). Dans cette étude, on demandait à des participants d'effectuer une tâche de décision sémantique qui consistait à juger si un verbe d'action sollicitait plutôt les mains ou les pieds. Les réponses étaient enregistrées via

un micro afin d'éviter les possibles interactions entre le segment corporel relié à la réponse du participant et le segment corporel sollicité dans l'action (Andres et al., 2015). Avant d'effectuer cette tâche, la moitié des participants ont eu leur bras dominant immobilisé durant 24 heures alors que les autres participants n'ont subi aucune contrainte. Les résultats ont montré des temps de réponse plus élevés pour traiter les verbes d'action sollicitant les mains chez les participants ayant été immobilisés alors qu'aucune différence n'était observée pour les verbes d'action sollicitant les pieds. Ces résultats suggèrent donc que le traitement des verbes d'action se base sur un système sensorimoteur efficient.

2.3. Apport des travaux menés chez les patients

Le lien expérience sensorimotrice-langage a également été démontré par des auteurs s'intéressant au traitement des verbes d'action chez des patients présentant des troubles moteurs. Ces études ont montré que les patients présentant des difficultés lors de la production d'actions, présentaient également des performances amoindries concernant le traitement de verbes d'action (voir Cotelli et al., 2018 pour une revue), que ces verbes soient présentés de manière isolée (Boulenger et al., 2008) ou qu'ils soient intégrés dans des phrases (Fernandino et al., 2013). Par ailleurs, la difficulté des patients à traiter des verbes d'action pourrait être directement reliée à leur état moteur actuel comme le suggère une étude de Boulenger et collaborateurs (2008) menée auprès de patients parkinsoniens. Dans cette expérience, les auteurs ont comparé la capacité à traiter des verbes d'action et des noms concrets auprès de patients présentant une maladie de Parkinson et suivant une thérapie à base de Lévodopa et auprès de participants sains. En outre, les patients présentant une maladie de Parkinson étaient évalués deux fois dans la même journée : une première fois en condition « OFF » alors qu'ils n'avaient pas eu de traitement durant au moins 12 heures avant la passation et une fois en condition « ON », c'est-à-dire une heure après la prise d'une dose supraliminaire de Lévodopa (correspondant à leur dose habituelle augmentée de 25%). Les participants devaient réaliser une tâche de décision lexicale, c'est-à-dire évaluer si un ensemble de lettres (cible) correspondait ou non à un mot de la langue française. Parmi les mots, deux catégories étaient distinguées : des verbes d'action qui sollicitaient la main ou le bras (e.g., dessiner) et des noms concrets qui se réfèrent à des entités concrètes et imaginables mais qui ne pouvaient pas être manipulés (e.g., moulin). Lors de chaque essai, avant le jugement de la cible, on présentait aux participants une amorce durant 50 ms qui pouvait être identique à la cible ou différente de la cible. Les résultats ont montré une diminution des temps de réponse lors de la présentation des amorces identiques dans la reconnaissance des noms concrets et des verbes d'action chez les participants sains. Pour les participants présentant une maladie de Parkinson, les résultats dépendaient de la condition. Avant la prise de Lévodopa, les résultats montrent des temps de réponse très élevés quel que soit le type de mots à évaluer, et un effet de l'amorce limité à la présentation de noms concrets. Après la prise de médicament, les auteurs ont observé une diminution significative des temps de réponse ainsi qu'un effet d'amorçage pour les noms concrets et pour les verbes d'action. On peut noter que cette augmentation des performances s'accompagnait d'une augmentation des capacités motrices mesurées grâce à l'Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS, Fahn & Elton, 1987). Ces résultats montrent donc clairement que le niveau de contrôle moteur des participants impacte directement leur capacité à traiter des verbes d'action, confirmant l'implication du système moteur lors du traitement des verbes d'action. De façon complémentaire, plusieurs études ont mis en évidence l'impact bénéfique d'une thérapie basée sur la production d'actions (e.g., Ferguson et al., 2012) ou l'observation

d'actions (voir Marangolo & Caltagirone, 2014 pour une revue) pour la rééducation de patients présentant des troubles du langage associés à une aphasie non-fluente. Dans ce contexte, Marangolo et ses collaborateurs (2010) ont montré qu'une rééducation intensive (trois sessions de 30 à 45 minutes par jour pendant deux semaines consécutives) basée sur l'observation d'actions humaines permettait d'améliorer significativement la production de verbes chez des patients présentant une aphasie non fluente, avec des effets qui perduraient au moins deux mois après la fin du traitement (voir aussi Francisco et al., 2023 pour une expérience récente). L'amélioration des performances verbales des patients était contrainte par le type d'actions présentée. Ainsi, seule la présentation d'actions humaines (e.g., la marche) permettrait d'améliorer significativement la capacité de production de verbes d'action (Marangolo et al., 2012). Il existerait donc une spécificité du lien action-langage qui serait reliée à l'appartenance des actions au répertoire moteur des participants, renforçant clairement l'idée de l'intervention d'une simulation motrice de l'action lors du traitement de verbes d'action.

3. Perspectives et conclusion

L'existence d'un lien entre action et langage est aujourd'hui très bien documenté. Il apparaît clairement que le traitement sémantique d'un verbe d'action entraîne l'activation du système sensorimoteur, et inversement une activation du système sensorimoteur facilite l'accès au traitement sémantique du verbe correspondant. Cependant, de nombreuses questions restent encore en suspens, notamment 1) la question de la systématisme de l'activation sensorimotrice et 2) et celle de la création du lien action-langage. Concernant le rôle et la systématisme, les débats portent principalement sur la nécessité de l'activation sensorimotrice pour comprendre et traiter du langage d'action. Ainsi certains auteurs défendent l'idée que l'activation sensorimotrice reliée au traitement d'un verbe d'action est un élément constituant pour accéder au sens (e.g., Briglia et al., 2018) alors que d'autres voient plutôt cette activation sensorimotrice comme un accompagnement non essentiel à la compréhension du sens du mot (e.g., Pecher & Zeelenberg, 2018). Concernant la création du lien action-langage, deux théories majeures s'affrontent. La théorie des neurones miroirs (e.g., Arbib, 2005) qui postule que le langage est une évolution de la compréhension de l'action et que l'un et l'autre sont basés sur des activations neuronales identiques ; et la théorie associationniste (e.g., Pulvermüller et al., 2005) qui postule qu'action et langage ne sont pas reliés au départ mais que le lien se créerait petit à petit grâce aux associations répétées entre langage et action. Enfin, la fonction précise de l'existence d'un lien langage-action reste encore floue et la clarification du rôle de ce lien sera également l'un des défis des recherches futures (Voir Yavuz & Nazir, chapitre 7a pour des éléments sur ces différentes questions).

5 points essentiels à retenir :

- Le langage d'action et l'action sont basés sur des réseaux neuronaux communs.
- Le lien action-langage est bidirectionnel.
- L'expérience sensorimotrice est déterminante dans l'existence du lien action-langage.
- Le lien action-langage est dépendant du contexte de réalisation de l'action et du contexte dans lequel le verbe d'action est présenté.
- Le lien action-langage peut être utilisé pour la rééducation de patients souffrant de troubles langagiers.

Références

- Andres, M., Finocchiaro, C., Buiatti, M., & Piazza, M. (2015). Contribution of motor representations to action verb processing. *Cognition*, *134*, 174–184.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.10.004>
- Aravena, P., Courson, M., Frak, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Deprez, V., & Nazir, T. A. (2014). Action relevance in linguistic context drives word-induced motor activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 163. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00163>
- Aravena, P., Delevoye-Turrell, Y., Deprez, V., Cheylus, A., Paulignan, Y., Frak, V., & Nazir, T. (2012). Grip force reveals the context sensitivity of language-induced motor activity during “action words” processing: Evidence from sentential negation. *PLoS ONE*, *7*(12), e50287. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050287>
- Arbib, M. A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral Brain Sciences*, *28*(2), 105–124; discussion 125-67. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000038>
- Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current Biology*, *16*(18), 1818–1823. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.060>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral Brain Sciences*, *22*(4), 577–609; discussion 610-60.
- Beauprez, S. A., & Bidet-Ildei, C. (2017). Perceiving a Biological Human Movement Facilitates Action Verb Processing. *Current Psychology*, 1–5.
<https://doi.org/10.1007/s12144-017-9694-5>
- Beauprez, S. A., & Bidet-Ildei, C. (2018). The kinematics, not the orientation, of an action influences language processing. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*. <https://doi.org/10.1037/xhp0000568>

- Beauprez, S. A., Bidet-Ildei, C., & Hiraki, K. (2019). Does watching Han Solo or C-3PO similarly influence our language processing? *Psychological Research*.
<https://doi.org/10.1007/s00426-019-01169-3>
- Beauprez, S.-A., Blandin, Y., Almecija, Y., & Bidet-Ildei, C. (2020). Physical and observational practices of unusual actions prime action verb processing. *Brain and Cognition*, *138*, 103630. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.103630>
- Beauprez, S.-A., Toussaint, L., & Bidet-Ildei, C. (2018). When context modulates the influence of action observation on language processing. *PLOS ONE*, *13*(8), e0201966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201966>
- Bidet-Ildei, C., Beauprez, S. A., & Badets, A. (2020). A review of literature on the link between action observation and action language: Advancing a shared semantic theory. *New Ideas in Psychology*, *58*, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2019.100777>
- Bidet-Ildei, C., Gimenes, M., Toussaint, L., Almecija, Y., & Badets, A. (2017). Sentence plausibility influences the link between action words and the perception of biological human movements. *Psychological Research*, *81*(4), 806–813. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0776-z>
- Bidet-Ildei, C., Gimenes, M., Toussaint, L., Beauprez, S. A., & Badets, A. (2017). Painful semantic context modulates the relationship between action words and biological movement perception. *Journal of Cognitive Psychology*, *29*(7), 821–831. <https://doi.org/10.1080/20445911.2017.1322093>
- Bidet-Ildei, C., Meugnot, A., Beauprez, S. A., Gimenes, M., & Toussaint, L. (2017). Short-term upper limb immobilization affects action-word understanding. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *43*(7), 1129–1139. <https://doi.org/10.1037/xlm0000373>

- Bidet-Ildi, C., Sparrow, L., & Coello, Y. (2011). Reading action word affects the visual perception of biological motion. *Acta Psychologica (Amst)*, *137*(3), 330–334.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.04.001>
- Bonini, L., Rotunno, C., Arcuri, E., & Gallese, V. (2022). Mirror neurons 30 years later: Implications and applications. *Trends in Cognitive Sciences*, *26*(9), 767–781.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.003>
- Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S., Broussolle, E., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, *46*(2), 743–756.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.10.007>
- 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.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.10.1607>
- Briglia, J., Servajean, P., Michalland, A.-H., Brunel, L., & Brouillet, D. (2018). Modeling an enactivist multiple-trace memory. ATHENA: A fractal model of human memory. *Journal of Mathematical Psychology*, *82*, 97–110.
<https://doi.org/10.1016/j.jmp.2017.12.002>
- Chomsky, N. (1975). *Reflections on Language*. Pantheon Books.
- Cotelli, M., Manenti, R., Brambilla, M., & Borroni, B. (2018). The role of the motor system in action naming in patients with neurodegenerative extrapyramidal syndromes. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *100*, 191–214. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.05.011>
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Results*, *91*, 176–180.

- Fahn, S., & Elton, R. L. (1987). Unified Parkinson's Disease Rating Scale. In S. Fahn, C. D. Marsden, M. Goldstein, & D. B. Calne (Eds.), *Recent developments in Parkinson's disease* (Vol. 2, pp. 153–163). Macmillan Healthcare Information.
- Ferguson, N. F., Evans, K., & Raymer, A. M. (2012). A comparison of intention and pantomime gesture treatment for noun retrieval in people with aphasia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *21*(2), S126-139.
[https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2012/11-0076\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2012/11-0076))
- Fernandino, L., Conant, L. L., Binder, J. R., Blindauer, K., Hiner, B., Spangler, K., & Desai, R. H. (2013). Where is the action? Action sentence processing in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, *51*(8), 1510–1517.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.008>
- Fischer, M. H., & Zwaan, R. A. (2008). Embodied language: A review of the role of the motor system in language comprehension. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (Colchester)*, *61*(6), 825–850.
<https://doi.org/10.1080/17470210701623605>
- Francisco, V., Louis, F., David, R., Billot, M., Rouquette, A.-L., Broc, L., & Bidet-Ildei, C. (2023). Point-light display: A new tool to improve verb recovery in patients with aphasia? A pilot study. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-023-06607-8>
- Giacobbe, C., Raimo, S., Cropano, M., & Santangelo, G. (2022). Neural correlates of embodied action language processing: A systematic review and meta-analytic study. *Brain Imaging and Behavior*, *16*(5), 2353–2374. <https://doi.org/10.1007/s11682-022-00680-3>
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin Review*, *9*(3), 558–565.

- Graf, M., Reitzner, B., Corves, C., Casile, A., Giese, M., & Prinz, W. (2007). Predicting point-light actions in real-time. *Neuroimage*, *36 Suppl 2*, T22-32.
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. (2018). Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *94*, 31–44.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.08.003>
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermuller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, *41*(2), 301–307.
- Jirak, D., Menz, M. M., Buccino, G., Borghi, A. M., & Binkofski, F. (2010). Grasping language—A short story on embodiment. *Consciousness and Cognition*, *19*(3), 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.06.020>
- Liepelt, R., Dolk, T., & Prinz, W. (2012). Bidirectional semantic interference between action and speech. *Psychological Research*, *76*(4), 446–455. <https://doi.org/10.1007/s00426-011-0390-z>
- Lyons, I. M., Mattarella-Micke, A., Cieslak, M., Nusbaum, H. C., Small, S. L., & Beilock, S. L. (2010). The role of personal experience in the neural processing of action-related language. *Brain and Language*, *112*(3), 214–222.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.05.006>
- Marangolo, P., Bonifazi, S., Tomaiuolo, F., Craighero, L., Coccia, M., Altoe, G., Provinciali, L., & Cantagallo, A. (2010). Improving language without words: First evidence from aphasia. *Neuropsychologia*, *48*(13), 3824–3833.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.025>
- Marangolo, P., & Caltagirone, C. (2014). Options to enhance recovery from aphasia by means of non-invasive brain stimulation and action observation therapy. *Expert*

Review of Neurotherapeutics, 14(1), 75–91.

<https://doi.org/10.1586/14737175.2014.864555>

Marangolo, P., Cipollari, S., Fiori, V., Razzano, C., & Caltagirone, C. (2012). Walking but not barking improves verb recovery: Implications for action observation treatment in aphasia rehabilitation. *PLoS One*, 7(6), e38610.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038610>

Pecher, D., & Zeelenberg, R. (2018). Boundaries to grounding abstract concepts.

Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 373(1752), 20170132. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0132>

Popp, M., Trumpp, N. M., & Kiefer, M. (2019). Processing of Action and Sound Verbs in Context: An fMRI Study. *Translational Neuroscience*, 10, 200–222.

<https://doi.org/10.1515/tnsci-2019-0035>

Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *The European Journal of Neuroscience*, 21(3), 793–797. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.03900.x>

Rueschemeyer, S.-A., Lindemann, O., van Rooij, D., van Dam, W., & Bekkering, H. (2010). Effects of intentional motor actions on embodied language processing. *Experimental Psychology*, 57(4), 260–266. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000031>

Springer, A., Huttenlocher, A., & Prinz, W. (2012). Language-induced modulation during the prediction of others' actions. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-012-0411-6>

Springer, A., & Prinz, W. (2010). Action semantics modulate action prediction. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (Colchester)*, 1–18.

<https://doi.org/10.1080/17470211003721659>

Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In:

An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280.

Zwaan, R. A., & Taylor, L. J. (2006). Seeing, acting, understanding: Motor resonance in

language comprehension. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(1), 1–

11. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.135.1.1>