Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques : apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive

Florence Bara, André Tricot

▶ **To cite this version:**

Florence Bara, André Tricot. Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques : apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive. Recherches sur la philosophie et le langage, 2017, 33, pp.219-249. hal-01889164

HAL Id: hal-01889164
https://hal.science/hal-01889164

Submitted on 5 Oct 2018

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.

Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques : apports des théories de la cognition incarnée et de la charge cognitive

Bara, F., & Tricot, A.

Laboratoire CLLE-LTC, Université de Toulouse Jean Jaurès

Le rôle du corps dans les apprentissages et plus généralement dans la cognition est l'objet de controverses importantes au sein des sciences cognitives, opposant notamment les paradigmes computo-symboliques et de la cognition incarnée. Cet article examine cette opposition dans un domaine restreint des apprentissages : celui de connaissances symboliques en contexte scolaire. Pour cela, il analyse les résultats obtenus dans certaines recherches sur les apprentissages scolaires faisant appel à la manipulation d'objets physiques ou à la réalisation de gestes. A la lumière de deux théories fortes en psychologie cognitive, la cognition incarnée et la charge cognitive, nous interrogeons les résultats, parfois positifs parfois négatifs, obtenus lors de l'utilisation du corps pour apprendre. Si tout apprentissage mobilise nécessairement la perception de l'environnement et l'action, toute action n'améliore pas pour autant l'apprentissage, et agir plus ne correspond pas forcément à apprendre plus. Les questions de charge cognitive, de type de connaissance mobilisé, et d'expertise des apprenants sont envisagées.

Mots clés : cognition incarnée, charge cognitive, action, apprentissage

Selon Mayer (2011), « l'apprentissage est un changement relativement permanent des connaissances ou du comportement d'une personne dû à l'expérience. Cette définition a trois composantes : 1) la durée du changement qui relève du long terme plutôt que du court terme ; 2) l'objet du changement qui est le contenu et la structure des connaissances en mémoire ou le

comportement ; 3) la cause du changement qui relève de l'expérience de l'apprenant dans l'environnement plutôt que de la fatigue, de la motivation, de médicaments, de conditions physiques ou d'interventions physiologiques ». Comprendre et expliquer cette activité n'est pas aisé, notamment quand elle a lieu chez des humains. Selon Tricot et Sensevy (sous presse), une théorie de l'apprentissage « devrait être capable d'articuler le spécifique (que se passe-t-il quand telle connaissance spécifique est apprise dans tel environnement ?) et le générique (que se passe-t-il quand les humains apprennent ?), elle devrait donc être dotée d'une théorie de la connaissance ou au minimum d'une catégorisation des connaissances, de même que d'une théorie des environnements ou situations (…) ». Pour relever ce défi, de très nombreuses approches ont été proposées. Si l'on se limite aux travaux conduits au sein de la psychologie cognitive, on peut considérer que l'apprentissage désigne notre capacité à mobiliser des éléments du passé pour comprendre et agir dans le présent, mais, par opposition aux souvenirs, les connaissances apprises concernent cette partie de notre mémoire relativement indépendante des situations passées. Ainsi, avec la définition de Mayer, nous pouvons souligner une caractéristique essentielle de l'apprentissage tel qu'il est vu par les cognitivistes : comme processus lié à l'expérience, il est nécessairement situé ; mais son résultat est par définition relativement indépendant de la situation. Les humains seraient capables de mobiliser une connaissance même après avoir oublié quand, comment, où, avec qui ils ont appris cette connaissance. Toute la difficulté de ce défi théorique réside dans son ambition, qui peut sembler démesurée : comment conceptualiser de façon unitaire l'apprentissage de connaissances ainsi définies, qui incluent des traces du passé aussi différentes qu'un concept abstrait et un geste technique, une connaissance à propos de soi-même et une connaissance du monde ? Pour répondre à cette difficulté, trois paradigmes ont été mobilisés. Selon le premier, dit computo-symbolique, on peut distinguer le contenu des connaissances elles-mêmes et la façon dont elles sont représentées en mémoire. Il suffit de

considérer qu'elles sont représentées de façon symbolique, comme dans une machine de Turing, pour centrer les investigations sur le traitement de ces informations symboliques. Selon le second, dit de la cognition située, les connaissances ne sont jamais totalement indépendantes de situations sources. Il suffit alors de disposer d'une description suffisamment efficace des situations pour rendre compte des apprentissages. Selon le troisième, dit de la cognition incarnée, les connaissances ne sont jamais que l'ensemble des sensations, perceptions, mouvements, émotions etc. mobilisées lors d'un apprentissage par un individu. Il suffit alors de disposer d'une description suffisamment efficace de l'ensemble des parties de l'individu mobilisées dans toute action présente ou dans toute mobilisation du passé, la relation entre présent et passé étant constamment une reconstruction. La portée philosophique de ces trois positions est l'objet de débats importants au sein de la psychologie cognitive depuis une quarantaine d'années, ainsi que de confrontations enrichissantes avec certains travaux en philosophie. Ce débat est en cours, aucun paradigme n'ayant réussi à résoudre toutes les incohérences qu'il générait. Dans cet article, nous allons tenter de montrer comment le paradigme computo-symbolique et celui de la cognition incarnée peuvent être non pas opposés mais complémentaires quand on s'intéresse à un domaine restreint des apprentissages, celui de connaissances symboliques : par exemple quand un enfant apprend à reconnaître les lettres qui composent un mot ou quand il apprend à mettre en œuvre une opération arithmétique. Cette confrontation entre les deux approches nous amènera à questionner les résultats obtenus dans le cadre de l'approche incarnée des apprentissages et de proposer des explications alternatives. La recherche de compatibilités partielles, ou locales, entre les approches computo-symboliques et incarnées pourrait constituer un enjeu scientifique autant que philosophique.

Pour cela, nous allons examiner deux types de travaux dans le domaine des apprentissages scolaires : ceux conduits au sein de la théorie de la charge cognitive, typiques

d'une approche computo-symbolique classique, et ceux conduits au sein de la théorie de la cognition incarnée. Nous allons tenter de rendre compte d'une compatibilité locale entre les deux approches. Selon notre point de vue, l'immense intérêt de la cognition incarnée dans le domaine des apprentissages réside dans la redécouverte de questions et d'aspects que les approches computo-symboliques avaient négligées et dans sa compatibilité avec d'autres approches.

1. Cognition incarnée et charge cognitive

Depuis une vingtaine d'années, un nombre de plus en plus important de chercheurs en sciences cognitives considèrent qu'on ne peut comprendre la cognition qu'en considérant l'individu comme un organisme produisant des actions et interagissant avec un environnement physique, s'opposant ainsi aux perspectives plus classiques de la cognition, relevant du paradigme computo-symbolique, qui supposent que les connaissances s'appuient sur la construction d'un ensemble de représentations et de règles symboliques. Dans ces approches computationnelles, la connaissance résiderait dans un système sémantique abstrait décontextualisé des informations sensorimotrices et environnementales. L'existence de ces représentations mentales comme base de la pensée a été contestée par exemple par Barwise et Perry (1981, 1983). La cognition se construirait à partir des interactions sensori-motrices avec l'environnement qui ne servent pas de base à la construction des représentations mais qui sont la structure même de la pensée. Cette vision se retrouve dans la théorie « radicale » de la cognition incarnée qui conçoit la perception, la cognition et l'action comme des phénomènes incarnés n'utilisant pas de représentations mentales (Chemero, 2009). Cette théorie rejette les explications computationnelles et représentationnelles de la cognition en faveur d'un modèle dynamique non linéaire de couplage entre l'individu et l'environnement, qui forme un système unifié, non décomposable. Ce rejet de l'existence des représentations mentales n'est pas partagé par tous les chercheurs qui se situent dans une perspective incarnée de la

cognition. S'ils rejettent l'idée de représentations neutres, amodales et décontextualisées, ils admettent néanmoins l'idée de représentations mentales orientées vers et par l'action (Clark, 1997). L'idée fondamentale que le cerveau existe dans un corps, qui lui même est situé dans un environnement avec lequel il va interagir apporte une vision différente de l'apprentissage. Les concepts seraient ainsi fondés sur la réactivation des structures neuronales dans les multiples modalités sensorielles, qui ont été activées lors des interactions antérieures avec l'environnement. Bien sûr cette minimisation des représentations mentales neutres, qui ne seraient pas nécessaires à la construction des connaissances, représente un défi pour l'explication et la compréhension des comportements complexes et de la construction de connaissances conceptuelles.

Dans son approche écologique de la psychologie, Gibson (1979) met en avant l'importance de l'environnement qui va contraindre la perception. La cognition résulte de l'interaction entre deux systèmes indépendant et complémentaires, l'organisme et l'environnement. La notion d'affordance dans ce cas renvoie à un potentiel d'interaction concernant les propriétés de l'environnement sur lequel il est possible d'agir. Varela, Rosch et Thompson (1993) proposent une alternative à cette conception en considérant l'environnement et l'organisme comme des systèmes en co-évolution et en co-détermination. L'énaction réside dans un couplage structurel entre le monde et le sujet percevant qui se déterminent l'un l'autre. La cognition ne serait pas représentation mais action incarnée ; le monde dont nous avons connaissance n'est pas donné mais énacté par l'histoire du couplage qui lie l'individu à son milieu. Gallagher (2005) soutient qu'un certain nombre de nos processus cognitifs sont produits et structurés d'emblée par des mécanismes corporels inaccessibles à la conscience. Sa conception s'appuie sur plusieurs postulats : la cognition reposerait sur les fonctions physiologiques du corps et sur les mécanismes neurologiques du cerveau ; l'environnement et la situation détermineraient conjointement avec les intentions de

l'individu les perceptions et les actions ; la posture et le corps influenceraient et détermineraient nos perceptions et nos états mentaux (posture debout pour l'être humain). La distinction qu'il fait entre l'image corporelle et le schéma corporel soutient la notion de cognition incarnée et son rôle dans la structuration de notre expérience. L'image corporelle est un système construit de perception, d'attitude et de croyances par rapport à son corps, alors que le schéma corporel est un système inné sensorimoteur qui fonctionne sans nécessité d'un contrôle conscient et qui se mettrait en place dès que le fœtus peut produire des mouvements. Ainsi, dès la naissance, notre compréhension des autres nous viendrait de notre pratique incarnée.

Dans cette perspective incarnée, l'activité cognitive implique une interaction continue entre le cerveau, le corps et l'environnement (Barsalou, 2008). Ce sont à la fois les interactions directes avec l'environnement et les expériences sensorimotrices acquises précédemment qui vont permettre la construction des connaissances. Ainsi, l'efficacité de l'apprentissage dépend de la manière dont l'individu va coordonner son activité cognitive avec les ressources perceptives, motrices et environnementales. La cognition est à la fois nourrie et contrainte par les interactions entre le corps et l'environnement. Cette théorie trouve une validation empirique dans des recherches comportementales et en neuro-imagerie qui montrent que les systèmes cognitif et sensorimoteur sont intimement liés et que l'interaction entre le corps et l'environnement favorise les apprentissages dans des domaines variés tels que la lecture, l'arithmétique, le langage, la résolution de problèmes… (Chandler & Tricot, 2015; Kiefer & Trumpp, 2012; Pecher & Zwaan, 2005; Pouw, van Gog, & Paas, 2014; Pulvermüller, 2005). Ainsi, il a été montré que le couplage entre l'écriture de la lettre ou l'exploration haptique de celle-ci et la perception visuelle de sa forme favorisait la mémorisation et la reconnaissance des lettres de l'alphabet chez de jeunes enfants de maternelle (Bara, Gentaz, Colé, & Sprenger-Charolles, 2004; Bara et al., 2004; Longcamp,

Zerbato-Poudou, & Velay, 2005). De même, l'apprentissage de mots de vocabulaire nouveaux est facilité par l'association de la trace verbale à un geste représentant le mot, que ce soit dans la langue maternelle, une langue étrangère ou une langue artificielle (Kelly, McDevitt, & Esch, 2009; Macedonia & Knosche, 2011; Macedonia, Muller, & Friederici, 2011). En mathématique, le comptage sur les doigts facilite l'apprentissage des nombres chez les jeunes enfants (Di Luca & Pesenti, 2011 ; Jordan, Kaplan, Ramineni & Locuniak, 2008) et l'exploration haptique de figures géométriques favorise leur reconnaissance (Kalénine, Pinet & Gentaz, 2011).

Si des effets bénéfiques, dont on ne sait pas toujours s'ils sont spécifiquement liés à la mobilisation du corps ou à la multiplicité d'encodage (nous présentons en détail cet « effet de modalité » plus loin dans l'article), ont été largement rapportés dans la littérature, plusieurs auteurs suggèrent cependant qu'apprendre à travers un environnement concret, et avec des expériences perceptives et motrices riches n'est pas forcément la base d'un apprentissage réussi, mais pourrait au contraire avoir des effets négatifs (DeLoache, 2000, 2004; Kaminski, Sloutsky, & Heckler, 2008; Sloutsky, Kaminski, & Heckler, 2005; Zacharia & Olympiou, 2011). Ces recherches conduisent à une vision plus modérée des effets d'un apprentissage incarné et tendent à minimiser l'intérêt de manipulations réelles et virtuelles de l'environnement d'apprentissage. Si les activités perceptives et motrices apportent de la richesse aux apprentissages elles peuvent également provoquer une surcharge cognitive qui va venir détériorer les performances (Brown, McNeil, & Glenberg, 2009; McNeil & Jarvin, 2007; Sarama & Clements, 2009).

La théorie de la charge cognitive (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011) peut éclairer la réflexion autour de ce double effet (parfois positif, parfois négatif) de la mobilisation du corps dans la réussite des apprentissages, en proposant des pistes alternatives pour la compréhension des mécanismes observés dans certaines études réalisées dans le cadre de la

théorie de la cognition incarnée. Cette théorie est fondée sur l'idée que des contraintes sont exercées par les limites de la capacité de la mémoire de travail[1] lors d'un apprentissage. Les individus ont en effet une capacité limitée à traiter les informations provenant de leur environnement, qui les amène à ne traiter qu'une infime partie de ces informations parmi toutes celles qu'ils pourraient percevoir (c'est là le rôle de l'attention sélective). Ces contraintes s'exercent en particulier lorsque l'apprentissage à réaliser concerne des connaissances « biologiquement secondaires » (Geary, 2008), *i.e.* qui sont apparues récemment dans l'évolution de notre espèce (le langage écrit, les mathématiques par exemple). Au contraire, ces contraintes ont peu d'importance lorsque l'apprentissage concerne des connaissances « biologiquement primaires », qui sont apparues précocement lors de l'évolution de notre espèce (comme le langage oral ou la reconnaissance de visages). Lors d'un apprentissage de connaissances secondaires (typiquement un apprentissage scolaire), la mémoire de travail est soumise à trois types d'exigences, trois types de « charge cognitive » (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011):

- la charge intrinsèque, qui concerne les ressources mobilisées par la réalisation de la tâche (par exemple l'action quand la tâche d'apprentissage nécessite une interaction physique avec l'environnement) ;

- la charge essentielle, qui concerne les ressources mobilisées par l'apprentissage lui-même, c'est-à-dire l'élaboration de nouvelles connaissances ou la modification de connaissances anciennes (par exemple cette charge va être plus importante chez un élève qui apprend le théorème de Pythagore sans avoir de connaissances à propos du triangle rectangle, que chez celui qui connaît bien les caractéristiques du triangle rectangle) ;

- la charge extrinsèque enfin, qui concerne les ressources mobilisées pour traiter des informations non pertinentes, interférentes (par exemple, une conversation qui n'a rien à voir

[1] La mémoire de travail (cf. modèle de Baddeley, 1986) peut être définie comme un système à capacité limitée de maintien temporaire et de traitement de l'information, à l'interface entre la perception et la mémoire à long terme.

avec l'apprentissage en cours, ou un texte à lire par les élèves pendant que le professeur lit le même texte à haute voix).

Les concepteurs de situations et de supports d'enseignement (ex. les enseignants, les auteurs de manuels scolaires) seraient en quelques sortes « naïfs » quant aux processus cognitifs soutenant l'apprentissage et aux contraintes pesant sur la mise en œuvre de ces processus. Sans que cela ne soit délibéré, ils pourraient compliquer inutilement les apprentissages des élèves, les conduisant à traiter des informations non pertinentes (charge extrinsèque) ou des tâches trop exigeantes alors que le même apprentissage pourrait être réalisé avec une autre tâche, moins exigeante (charge intrinsèque). Par exemple, l'effet de partage de l'attention a été répliqué plusieurs dizaines de fois : il montre que si la tâche donnée aux élèves implique qu'ils traitent simultanément deux sources d'information (par exemple un schéma et le commentaire de ce schéma) alors que celles-ci leur sont présentées séparément, dans l'espace ou dans le temps, alors on complique inutilement le traitement cognitif de ces informations. Présenter les mêmes informations de façon intégrée, dans le temps et dans l'espace, réduit l'effort inutile à fournir par les élèves, leur permettant de disposer de plus de ressources cognitives pour apprendre (charge essentielle).

Un certain nombre de recherches en psychologie de l'éducation se sont appuyées sur l'approche incarnée de la cognition et proposent d'évaluer les effets sur l'apprentissage d'activités maximisant les possibilités d'action du sujet sur l'environnement. Dans la majorité des études empiriques les résultats montrent un effet positif de l'utilisation du corps dans la construction des connaissances. Cet effet pourrait s'expliquer dans le cadre de la théorie de la charge cognitive par un effet de modalité. De nombreuses recherches qui attestent d'effets positifs des gestes de l'enseignant sur l'apprentissage des élèves sont interprétés comme relevant de cet effet : l'information verbale (les explications orales de l'enseignant) est complétée par une information visuelle (les gestes de l'enseignant), mobilisant deux systèmes

de traitement en mémoire de travail (le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique) plutôt qu'un seul, allégeant de cette manière la charge en mémoire de travail. Les gestes réduisent la charge cognitive (voir la synthèse de Novack et Goldin Meadow, 2015) ou focalisent plus les élèves sur l'apprentissage lui-même, mobilisant plus de ressources pour la charge cognitive essentielle. La pluralité d'encodage réduirait la charge en mémoire de travail au moment des interactions sensori-motrices avec l'environnement mais serait également une partie intégrante de notre mémoire à long terme des évènements. Alors que les modèles structuraux de la mémoire (Tulving, 1995) postulent l'existence de différents systèmes mémoriels et défendent l'idée d'une nature amodale des connaissances conceptuelles (les connaissances en mémoire sémantique sont détachées de l'expérience vécue), les approches incarnées de la cognition envisagent la mémoire comme un système dans lequel l'accès aux connaissances implique la simulation des états sensoriels et moteurs similaires à ceux vécus lors des expériences passées. Le modèle proposé par Versace *et al*. (2014) propose de décrire les mécanismes impliqués dans le traitement mnésique et l'émergence des connaissances en lien avec les mécanismes perceptifs. Il stipule que les traces en mémoire reflètent les différents composants issus des expériences passées et, plus spécifiquement les propriétés sensorielles captées par nos récepteurs sensoriels, les actions effectuées dans l'environnement ainsi que les états émotionnels et motivationnels de l'individu. Chaque exposition à une expérience conduit à la création de traces en mémoire correspondant à des patterns d'activations sensori-moteurs. Les connaissances vont alors résulter de l'interaction entre la situation présente et les expériences antérieures, qui active les traces correspondantes en mémoire. Les connaissances sont considérées comme des états d'activation du système mnésique, elles sont créées puis enrichies grâce aux interactions sensori-motrices de l'individu avec l'environnement. Les connaissances sémantiques et les souvenirs épisodiques ne sont plus dissociés en termes de systèmes mnésiques distincts mais correspondent à des quantités différentes de traces activées

en mémoire. L'ensemble des activations distribuées au sein des systèmes sensoriels correspond à une représentation modale de l'objet. L'activation inter-traces est le résultat de la réactivation de traces d'expériences passées par la situation présente (l'activation initiale de composants présents va être diffusée aux traces similaires d'expériences passées). En parallèle s'effectue la réactivation de composants sensoriels et moteurs non obligatoirement présents dans la situation actuelle mais associés dans la trace par des activations inter-composants (par exemple olfactifs en plus de moteur). Cette vision des processus de mémorisation explique bien pourquoi un événement vécu à la fois visuellement et corporellement (par une action sur l'environnement) serait mieux retenu. Par exemple, la perception visuelle d'un vélo va activer les composants moteur (lié à l'action de pédaler) et peut-être auditif (bruit de la sonnette du vélo) qui ne sont pas présents dans la situation actuelle. Ces activations entre composants vont favoriser la mémorisation et l'accès aux connaissances.

Si ces mécanismes d'activation inter-composants semblent particulièrement facilitateurs des mécanismes mnésiques, il peut s'avérer dans certains cas que l'apprentissage en interaction avec un environnement riche en expériences sensorielles ne favorise pas pour autant l'apprentissage. Les cas où la mobilisation du corps n'améliorerait pas l'apprentissage relèvent, selon la théorie de la charge cognitive, de deux catégories : (a) le mouvement augmente la charge extrinsèque, il est non pertinent pour l'apprentissage visé, il conduit la personne à traiter des informations sans lien avec la connaissance à construire et, (b) le mouvement entraine une charge intrinsèque plus élevée, il complexifie la tâche, augmente le nombre d'informations à traiter lors de la réalisation de l'action ; ces informations sont pertinentes, mais une autre tâche, impliquant moins d'information à traiter, permet le même apprentissage. Si l'utilisation du corps pour apprendre est sans aucun doute d'un grand intérêt, il ne faudrait cependant pas tomber dans une vision simpliste des apprentissages, où l'action aurait un effet presque « magique » et automatiquement facilitateur. Il nous paraît essentiel de

ce fait de se poser les questions des conditions optimales et des obstacles à ces effets et d'essayer de comprendre les mécanismes qui les sous-tendent. Est-on face à un effet du type de modalité sensorielle sollicitée pour l'apprentissage (effet d'encodage multiple en mémoire) ou est-ce que le fait d'agir sur l'environnement permet de mobiliser des connaissances et/ou des processus cognitifs plus difficilement accessibles quand le sujet n'agit pas ? Dans quels cas est-ce que l'utilisation du corps diminue la charge cognitive ? Y-a-t-il des conditions dans lesquelles l'action pourrait au contraire augmenter cette charge ? Est-ce que tout type de connaissance peut se construire avec une dimension sensori-motrice ?

2. Effet de la modalité ou du type de connaissance mobilisé ?

A la lumière des apports de la théorie de la charge cognitive, on peut proposer que les effets de la mobilisation du corps dans les apprentissages ne seraient pas tant le résultat d'une pratique incarnée mais plutôt un effet du type de connaissance mobilisé. Cette partie a pour objectif de questionner les résultats expérimentaux dans des tâches d'apprentissage qui impliquent la manipulation d'objets physiques ou la réalisation de gestes moteurs et de réfléchir sur les mécanismes qui pourraient expliquer les progrès des élèves. Les recherches qui mettent en évidence une supériorité de l'apprentissage quand le corps est sollicité tentent de contrôler au maximum les conditions d'apprentissage et de les rendre équivalentes. Ainsi, on compare généralement sur la même tâche un apprentissage qui ne ferait intervenir que les modalités verbale et visuelle avec un apprentissage qui ferait intervenir en plus des interactions motrices avec l'environnement. Si les tâches proposées et les conditions de passations sont bien contrôlées, il est cependant difficile d'avoir un contrôle sur les opérations cognitives effectuées par l'enfant au moment où il réalise la tâche. En effet on peut supposer que la modalité d'encodage entraîne des mécanismes de traitement de l'information différents et ne mobilise pas ou ne fait pas émerger exactement le même type de connaissance. Les

mécanismes à l'œuvre et l'explication de ces mécanismes pourraient dépendre du type de tâche et du type de compétences sollicité.

Dans les tâches simples de mémorisation, l'effet positif de l'action pourrait simplement s'expliquer par un effet d'encodage multiple en mémoire. Dans les recherches de Bara et ses collègues (Bara, Gentaz, Colé & Sprenger-Charolles, 2004 ; Bara, Gentaz & Colé, 2007 ; Bara, Lannuzel, Pronost & Calvarin, 2013), l'ajout de l'exploration haptique ou motrice des lettres de l'alphabet dans des séances d'apprentissage en maternelle favorise la mémorisation et la reconnaissance visuelle des lettres. L'effet est attribué à la multiplicité des encodages qui favorisent la mémorisation et la mise en lien des informations (dans ce cas, mise en lien des formes visuelle, auditive et motrice des lettres, qui facilite l'apprentissage des lettres de l'alphabet). Si cette explication des résultats paraît convaincante, l'analyse des vidéos des séances faites en classe permet de questionner cette interprétation en montrant que les conditions d'apprentissage modifient les comportements des enseignantes. Quand les élèves ont pour tâche de tracer les lettres avec le bras ou de marcher le long des contours de la lettre dessinée au sol, les enseignantes ont tendance à donner plus d'informations verbales sur la forme de la lettre, que lorsque les lettres sont présentées visuellement aux élèves. S'ajoute donc à l'interaction sensori-motrice avec la lettre, des informations verbales supplémentaires qui peuvent aider les élèves à mieux analyser la forme précise de la lettre et qui expliqueraient les progrès des élèves.

L'association du geste pour mémoriser des mots de vocabulaire en langue étrangère donne des résultats positifs chez les jeunes enfants. Plusieurs recherches montrent que les enfants de 4 et 5 ans qui apprennent des mots de vocabulaire étranger en réalisant physiquement l'action mémorisent mieux ces mots que lorsqu'ils sont appris sans réaliser le geste correspondant (Mavilidi, Okely, Chandler, Cliff & Paas, 2015 ; Toumpaniari *et al.* 2015). Ce type de résultat peut être interprété comme montrant un effet bénéfique de la

mobilisation du corps sur un apprentissage alors que la connaissance apprise n'est pas motrice mais verbale. Mais apprendre des mots en langue étrangère constitue une activité où la multiplicité d'encodage (par exemple avec l'appui d'un dessin) donne assez systématiquement de bons résultats (Lawson & Hogben, 1998). L'effet positif ne serait alors pas strictement lié à la mobilisation du corps, mais, plus généralement, à la complémentarité des informations verbales et motrices, qui faciliterait les processus de mémorisation. Dans le cadre de tâches d'apprentissage qui font appel uniquement à des processus mnésiques « de bas niveau » (sans transformation du matériel appris), il semble possible de proposer une interprétation uniquement en termes de multi-codage favorisant les processus mnésiques.

En mathématiques, que ce soit pour l'apprentissage des nombres ou des formes géométriques, l'utilisation du corps a un effet bénéfique. Ruiter, Loyens et Paas (2015) ont demandé à 115 élèves de CP de représenter des nombres. Quatre conditions de réalisation de la tâche sont comparées, dont deux nous intéressent plus particulièrement ici : dans l'une les élèves doivent faire la tâche en réalisant des pas (10 représenté par un grand pas, 5 par un pas moyen, 1 par un petit pas), tandis que dans l'autre condition, les élèves doivent indiquer la position du nombre sur une règle. Les élèves du groupe « pas » apprennent mieux que ceux du groupe « repère sur une règle ». Cependant, il n'est pas certain que les conditions soient strictement comparables, les élèves de la condition « pas » devant en plus décomposer – recomposer le nombre, tandis que les élèves du groupe « repère sur une règle » doivent traiter la ligne numérique. Les travaux en cognition numérique montrent que ces tâches ne sont pas équivalentes (Izard & Dehaene, 2008). Dans l'étude de Kalenine, Pinet et Gentaz (2011) l'exploration haptique de figures géométriques en relief améliore leur reconnaissance mais également la compréhension des catégories de figures. Si l'effet peut être interprété par un codage multiple de l'information, il est important de considérer que l'interaction entre la main et l'objet a pu amener l'enfant à se poser des questions qu'il ne se serait pas posé uniquement

en voyant la forme. En effet les spécificités du sens haptique (Gentaz, 2009) peuvent aider à focaliser l'attention de l'enfant sur certaines propriétés qui deviennent plus saillantes comme la longueur d'un coté ou les angles quand on les explore avec la main, amenant l'enfant à considérer d'autres dimensions que perceptives dans la catégorisation des figures.

L'intérêt de l'utilisation du corps a également été montré pour des mécanismes de plus haut niveau comme la compréhension de texte ou la résolution de problèmes. Glenberg et son équipe (Glenberg, Gutierrez, Levin, Japuntich, & Kaschak, 2004) demandent à des enfants de lire un texte à propos d'une ferme. Dans une condition, les enfants doivent en plus manipuler des objets représentant des animaux de la ferme, des outils etc. au fur et à mesure qu'ils lisent. La compréhension du texte est alors meilleure. Selon la théorie de la charge cognitive, l'effet obtenu serait indirect : ce n'est pas tant les actions réalisées que le fait de devoir réfléchir à la signification du texte, de se poser des questions importantes, qui produit cet effet (voir la synthèse de Fiorella & Mayer, 2015, sur tous les « effets de génération », qui améliorent l'apprentissage en favorisant des traitements plus « profonds »). La manipulation mettrait l'élève face à des situations qu'il a créées dans l'environnement et qui sont propices à faire émerger certains questionnements nouveaux sur le sens du texte, auxquelles il n'aurait pas eu accès lors de la lecture et de la simple exposition au matériel verbal. La présence physique de l'ensemble des personnages par exemple permettrait non seulement de maintenir plus facilement les informations en mémoire de travail sur la situation énoncée précédemment dans le texte pendant la poursuite de la lecture, mais également de se poser des questions sur ce que font les autres personnages et où ils sont pendant la manipulation d'un des personnages. La présence physique des objets, en permettant une visualisation de la situation dans laquelle sont effectuées les modifications, faciliterait la mise en lien des différents éléments de l'histoire et la compréhension de certains liens implicites ou explicites plus difficiles d'accès quand le matériel est présenté uniquement verbalement. Selon Gallagher et

Lindgren (2015) l'effet positif des gestes sur l'apprentissage pourrait être lié, dans certains cas, à la métaphore : en réalisant un geste, un déplacement, un jeu de « faire semblant », on réalise une métaphore de ce que l'on essaie de comprendre.

Martin et Schwartz (2005) évaluent les performances d'enfants de 9-10 ans qui apprennent les fractions à partir de la manipulation physique de parts de tartes. Leurs résultats montrent que les enfants qui utilisent la manipulation résolvent plus de problèmes que ceux qui ont pour tâche de faire les partitions sur des dessins (tâche contrôle papier crayon). Si l'effet semble bien être dû à l'action et non pas uniquement au double codage (les informations visuelles contenues dans le dessin n'ont pas suffi à obtenir des performances aussi fortes que la manipulation des cubes), le type de connaissances qui peut émerger de la manipulation des objets n'est pas exactement le même qu'en regardant un schéma. En effet la manipulation de l'environnement physique permet de voir plus rapidement et de manière plus concrète le résultats de l'action qui vient d'être réalisée, et permet de faire plus facilement des essais qui peuvent être rapidement modifiés.

Les effets d'activation des traces mnésiques similaires et d'activation des différents composants modaux de ces traces peuvent expliquer comment apprendre en mobilisant le corps (et ainsi les perceptions sensori-motrices) favorise les processus mnésiques et donc le rappel des informations. Cependant quand on s'intéresse aux processus de plus haut niveau (compréhension, raisonnement), il est possible que les effets soient la conséquence d'un ensemble de facteurs. C'est d'ailleurs ce que montre l'étude de Manches, O'Malley, et Benford (2010) auprès d'enfants de 5 à 7 ans, en mathématiques, qui devaient trouver le plus de combinaisons possibles pour former un nombre. Bien que les enfants qui ont trouvé le plus de résultats différents ont manipulé les cubes, c'est uniquement la manipulation bi-manuelle qui a engendré les gains dans l'apprentissage. En effet, si la manipulation est contrainte, en obligeant les enfants à n'utiliser qu'une main à la fois, les résultats sont détériorés. En

utilisant leurs deux mains, les enfants ont pu effectuer des mouvements simultanés de plusieurs cubes à la fois, une stratégie favorisant par exemple la réalisation de certaines combinaisons inverses.

Si l'effet de modalité est observé dans la plupart des recherches, l'intensité de cet effet dépend du type de matériel qui va être proposé ainsi que de la manière dont l'individu va interagir avec ce matériel et le comprendre. Le matériel choisi a des propriétés spécifiques qui rendent possibles uniquement certaines actions. De ce fait, le matériel choisi peut diminuer ou favoriser les comportements d'exploration qui vont être la base de la construction des connaissances. Ce n'est donc pas la manipulation en soi qui est importante mais plutôt les possibilités de manipulation que les objets proposés permettent ainsi que le sens qu'on peut leur donner. Ce sont ces dimensions qui vont faire l'efficacité de l'apprentissage à partir des expériences physiques d'interaction avec l'environnement. Le matériel à manipuler devrait être une aide à la stratégie que l'enfant met en place. Pour favoriser l'apprentissage, il faudrait donc plutôt privilégier une exploration libre sans perception du but à atteindre. C'est ce que montre exactement le *goal free effect* au sein de la théorie de la charge cognitive (Sweller *et al.*, 2011) : chaque fois qu'au lieu de proposer un énoncé de type « Calculer la valeur de l'angle ABC » dans un problème de géométrie, il est demandé aux apprenants de « Calculer la valeur d'autant d'angles que vous pourrez », on améliore l'apprentissage en réduisant une exigence inutile de la tâche. « Quand les apprenants emploient une stratégie sans but spécifié, au lieu de considérer à la fois l'état actuel du problème et le but à atteindre, de trouver des différences entre les deux et d'essayer de trouver une solution pour réduire ces différences, ils ont simplement besoin de considérer l'énoncé du problème et de trouver n'importe quel opérateur qui transformera cet énoncé en un nouvel état. Du fait de la simplicité de cette procédure, une stratégie sans but spécifié réduit substantiellement la charge en mémoire de travail (…). L'attention est dirigée uniquement vers les états du problème et les opérations

pertinentes pour ces états » (Chanquoy, Tricot & Sweller, 2008, p. 169). L'important est donc que l'élève puisse mettre en œuvre une recherche active et une manipulation effective, et pas uniquement la perception d'un modèle.

3. Réduction ou augmentation de la charge cognitive ?

La thèse que nous défendons est que la possibilité d'action dans des situations d'apprentissage a pour conséquence dans la majorité des cas de réduire la charge cognitive impliquée dans la réalisation de la tâche. La présence de l'environnement physique permet par exemple de maintenir facilement les représentations des éléments pendant la réalisation de la tâche et de diminuer ainsi la charge en mémoire de travail. Si l'interaction entre les différents composants (visuel, auditif, moteur) diminue la difficulté des processus mémoriels impliqués dans la tâche par les multiples activations et réactivation des traces, il nous semble que ce n'est pas tant le format de présentation de l'information qui entraîne des bénéfices dans l'apprentissage que l'allègement de la charge cognitive que permet le recours aux interactions sensori-motrices avec l'environnement. Il est à noter cependant que dans certains cas, l'ajout d'une modalité sensorielle supplémentaire au moment de l'apprentissage peut au contraire augmenter cette charge, ce qui aura pour conséquence de diminuer l'efficacité de l'apprentissage et les performances des élèves. Cette partie a pour objectif de questionner le lien entre action lors de la réalisation d'une tâche, charge cognitive, mobilisation des ressources attentionnelles, et bénéfices en termes d'apprentissage.

Dans des études sur l'apprentissage des lettres de l'alphabet chez des enfants de 5 ans, Bara et Gentaz (2011) montrent que le type de matériel et la manière d'explorer les lettres sont déterminants pour l'apprentissage. En comparant l'exploration libre et guidée de lettres en creux et en relief, ils montrent que la mémorisation des lettres est plus efficace quand les enfants explorent haptiquement les lettres que quand ils les voient mais ce uniquement pour

des lettres en relief, aucun effet bénéfique supplémentaire n'étant obtenu pour l'exploration de lettres en creux. L'analyse des procédures d'exploration manuelle montre que les enfants utilisent une procédure exclusive de « suivi de contours » (l'index suit les contours de la lettre) pour les lettres en creux, particulièrement couteuse cognitivement puisqu'il faut maintenir en mémoire les informations obtenues séquentiellement sur la lettre pour aboutir à la fin de l'exploration à une représentation unifiée et cohérente de la forme. Les lettres en relief permettent la combinaison d'une procédure d'« enveloppement » qui permet d'avoir une représentation de la forme globale de la lettre, qui peut ensuite être complétée par une exploration plus précise qui permettra d'ajouter des détails à la représentation préconstruite. De même une étape de manipulation libre, précédant une étape de manipulation guidée (dans le sens d'écriture de la lettre) est tout à fait propice pour retirer des informations essentielles à la construction de la représentation de la lettre et son maintien en mémoire. L'exploration de la lettre en creux aurait de ce fait augmenté la charge cognitive lors de la réalisation de la tâche, ce qui pourrait expliquer l'absence d'effet bénéfique de l'ajout de la modalité haptique sur la mémorisation des lettres.

La question de la mobilisation des ressources attentionnelles lors d'une tâche se pose également lors de la réalisation de gestes couplés au langage chez de jeunes enfants qui sont en pleine période de développement moteur (un certains nombre de gestes simples et complexes n'étant pas encore automatisés). Dans une de nos études, nous nous sommes intéressés à l'apprentissage des verbes d'action en petite section de maternelle. Nous avons demandé à des enfants de 3 ans d'énoncer le mot à voix haute quand ils réalisaient l'action correspondante, afin de les aider à mémoriser des mots de vocabulaire nouveaux. Pour les enfants pour lesquels l'action motrice était difficile à contrôler, il leur a été impossible de produire à la fois le geste et le verbe. Le contrôle moteur simultanée du corps et de l'énonciation a pu poser une difficulté forte aux élèves qui a diminué l'effet de l'action dans

l'apprentissage des mots de vocabulaire. Ce résultat peut également être interprété comme l'effet d'une surcharge en mémoire de travail. Si une grande partie des ressources attentionnelles est utilisée pour la réalisation de l'une des tâches (ici la réalisation du mouvement), il va être difficile pour l'enfant d'exécuter l'autre tâche (ici la verbalisation du mot). Nous pouvons supposer que si le geste n'est pas automatisé, l'enfant peut difficilement tirer des bénéfices de la double modalité verbale et motrice. On peut rapprocher ces résultats d'observations qui peuvent être faites en classe. Classiquement on apprend des comptines aux jeunes enfants en y associant des gestes, avec l'objectif implicite d'en favoriser la mémorisation et la compréhension. Si la majorité des enfants est capable de produire le geste au moment où le mot est prononcé dans la comptine, un certain nombre d'enfants essaie d'imiter les gestes en ayant toujours un temps de retard sur le texte oral. Dans ce cas, l'intérêt de ce type de pratique pédagogique peut être questionné et l'enseignant peut de manière involontaire complexifier la tâche de l'enfant en augmentant ainsi la charge intrinsèque.

La compréhension du geste à produire est également essentielle. Dans ce sens Tellier (2005, 2008) montre que les gestes sont un support à la compréhension d'histoires et à l'apprentissage de mots de vocabulaire nouveaux chez des jeunes enfants de 5 ans, à condition que ces gestes soient réellement compris par les enfants. La chercheuse s'est donc posée la question de la variabilité des gestes proposés par des adultes et des enfants pour illustrer des mots. Quand on demande à des adultes de représenter des mots par des gestes, la majorité propose les mêmes gestes (un ou deux gestes différents pour une population de 40 personnes), ce qui amène à parler de prototypie gestuelle (ce qu'on trouve également pour les représentations imagées). Cependant certains items entraînent plus de variabilité dans les gestes proposés. Ainsi une expression comme « être malade », qui repose sur les expériences et qui a également une forte valeur émotionnelle, n'a pas été illustrée de la même manière par les participants. La manière de produire les gestes associés aux mots dépend en partie de

l'individu, de ses représentations du concept et de ses expériences. S'il existe une représentation plutôt prototypique et partagée des gestes chez l'adulte, il est intéressant de savoir si ces représentations sont également partagées par les enfants. Si les résultats montrent que les gestes des adultes sont de manière générale bien compris par les enfants, ce n'est pas toujours le cas et certains gestes entraînent des confusions qui peuvent venir détériorer la compréhension verbale. Pour que les gestes aient une influence positive sur la compréhension et la mémorisation du langage, il faut qu'ils en soient une représentation claire et partagée.

Si le geste est déconnecté du mot auquel il correspond, s'il n'a pas de sens pour l'enfant, si le tempo trop rapide de la comptine ne lui laisse pas le temps de produire le geste adéquat, si la tâche motrice est trop complexe, on peut penser que le couplage action-perception-verbalisation n'aura pas lieu et n'aura pas l'effet positif attendu sur l'apprentissage. Au contraire, on peut envisager que dans ces cas le geste puisse provoquer une surcharge en mémoire de travail qui diminuerait le bénéfice d'un apprentissage incarné.

4. Effet des connaissances antérieures et de l'expertise

Une question que l'on peut également se poser concerne les bénéfices de l'utilisation du corps en fonction des individus et de leurs caractéristiques spécifiques. Est-ce que ces interactions action-perception-environnement participent à la construction des connaissances chez tous les individus ? Une des principales découvertes de la théorie de la charge cognitive est le *expertise reversal effect* (Kalyuga *et al.*, 2003) que l'on peut traduire par « effet de renversement dû à l'expertise ». Cet effet peut s'énoncer ainsi : tout ce qui facilite l'apprentissage chez les novices peut n'avoir aucun effet sur l'apprentissage des experts, voire, peut détériorer leur apprentissage. Cet effet est particulièrement facile à obtenir avec l'effet de modalité que nous avons évoqué ci-dessus : alors que l'utilisation de deux modalités

sensorielles (au lieu d'une seule) améliore l'apprentissage chez les novices dans la plupart des cas, ces deux modalités sont moins efficaces qu'une seule avec des experts. L'effet de renversement dû à l'expertise a été répliqué de nombreuses de fois (probablement plus d'une centaine), c'est un des plus robustes du domaine. Il s'explique de la façon suivante : les experts ont déjà des connaissances dans le domaine et ces connaissances sont organisées d'une façon qui est personnelle à l'individu. Les techniques qui aident les apprenants novices sont fondées sur le principe de guidage (l'apprenant est conduit pas à pas dans l'apprentissage), de multiplicité de l'encodage (la même information est présentée selon des modalités sensorielles ou sémiotiques différentes), de génération (l'apprenant est conduit à réfléchir, à mettre en œuvre des traitements « profonds »), soit autant de techniques qui sont au mieux inutiles pour les experts (l'expert n'a pas besoin d'être conduit à réfléchir, il le fait très bien lui-même), et au pire délétères (l'organisation des connaissances de l'expert est contredit par le guidage, qui impose une autre relation entre les connaissances ; les deux modalités de présentation de l'information ne sont plus complémentaires, elles deviennent redondantes). La théorie de la charge cognitive, avec l'effet de renversement dû à l'expertise, propose donc une explication de certains effets négatifs de l'utilisation du corps lors d'un apprentissage : avec les experts, l'utilisation du corps ou des mouvements viendrait contraindre inutilement l'apprentissage, en ajoutant des informations à traiter alors que sans elles cet apprentissage est possible. Le geste qui améliore l'apprentissage chez les novices devient superflu chez les experts, entraînant une augmentation de la charge cognitive

L'observation du comportement des individus conduit à voir au cours de l'apprentissage un passage du geste réel à une intériorisation du geste, des ressources externes à des ressources internes : des novices vont avoir tendance à avoir recours au geste alors que des experts vont internaliser le geste. Dans ce cas, l'apprentissage correspondrait à l'internalisation des informations sensorimotrices qui ont été initialement procurées par la

manipulation d'objets réels. Par exemple, lors d'opération de calcul, les utilisateurs experts du boulier semblent s'appuyer sur une représentation mentale du boulier, qui est plus efficace pour eux que la manipulation réelle de l'objet physique. A l'inverse les novices ont besoin des gestes et du boulier comme support au calcul (Frank & Barner, 2012). De même, on observe chez les jeunes enfants qui acquièrent de l'expertise en calcul, le passage du comptage physique sur les doigts à un modèle interne de comptage qui ne nécessite plus l'action réelle. Dans des jeux de morpions ou d'échecs, alors que les novices ont besoin de la présence physique du jeu pour être capable de manipuler mentalement les pièces, les experts n'ont pas besoin de ce support externe (Chase & Simon, 1973).

Afin d'évaluer l'interaction entre l'environnement et le niveau de connaissance des enfants, Martin et Schwartz (2005) ont proposé deux tâches, une d'addition de fractions, pour laquelle les enfants ont un faible niveau de connaissance, et une de multiplication de fractions, une tâche familière pour laquelle ils ont un haut niveau de connaissances. Les enfants réalisent la tâche en manipulant des cubes présentés de manière organisée ou non. L'environnement (structuré ou non structuré) n'a pas d'effet quand les enfants ont un haut niveau de connaissance. Par contre, quand leur niveau de connaissance est faible, l'environnement structuré va guider leur comportement et améliore la réalisation de la tâche. Les connaissances préalables des enfants les ont aidés à restructurer l'environnement et à organiser les manipulations comme ils le souhaitaient pour résoudre les problèmes. Alors qu'ils n'étaient pas capables de résoudre les problèmes mentalement, leurs connaissances sur le type d'opération à effectuer les a guidés dans le choix des manipulations à effectuer sur l'environnement physique. Dans l'autre condition, l'absence de connaissances ne peut être comblée que par l'organisation du matériel à manipuler, organisation qui va fortement suggérer les opérations à réaliser. Il est à noter cependant que si un environnement structuré aide les enfants à résoudre des problèmes quand ils ont un faible niveau de connaissance, en

même temps cela peut les empêcher de développer leur propre interprétation de la manière de résoudre le problème.

Dans le même sens, Black (2011) montre que l'ajout de manipulation physique (utilisation de poids et de balance) n'est efficace que pour les enfants qui ont des préconceptions erronées sur le concept de masse. Cependant cela ne signifie pas que la manipulation soit inefficace pour les autres car ils ont pu construire leurs représentations préalables justement en s'appuyant sur les interactions sensori-motrices avec l'environnement et au fur et à mesure intérioriser ces représentations et être capables d'apprendre sans manipulations ou à partir de manipulations virtuelles.

Le passage vers l'expertise pourrait ainsi se traduire par le passage d'un modèle externe, nécessitant la réalisation physique de l'action et/ou la présence physique du support dans l'environnement, à un modèle interne, s'appuyant sur la représentation de cette action. Dans ce sens il a été montré que la fréquence de l'utilisation spontanée de gestes est corrélée avec une faible capacité en imagerie et rotation mentale (Chu, Meyer, Foulkes, & Kita, 2014). Le support matériel externe serait particulièrement efficace quand le coût cognitif de la tâche est élevé ou quand l'individu est novice. Apprendre en interagissant avec l'environnement physique crée des informations sensori-motrices qui vont être utilisées pour construire les connaissances, et qui vont être internalisées au fur et à mesure que l'expertise se développe.

5. Quelles type de connaissances peuvent être apprises par l'action ?

La littérature sur les apprentissages oscille régulièrement entre :

- une approche unitaire de la connaissance : par exemple chez Bartlett (1932) avec la notion de schéma, Piaget (1937) avec la notion de schème, ou, plus récemment la théorie de la charge cognitive qui reprend la notion de schéma de Barlett ;

- une approche plurielle : par exemple Anderson *et al*. (2001) distinguent les connaissances factuelles (on admet quelque chose, comme une terminologie, des éléments spécifiques, des détails), conceptuelles (on comprend le monde, en mettant en relation plusieurs éléments, comme les catégories, principes généraux, théories, modèles et structures), procédurales (qui permettent de faire, comme les savoir-faire spécifiques, les techniques, méthodes ainsi que les conditions d'utilisation de ces procédures) et les connaissances métacognitives (qui portent sur la cognition en général, les stratégies, les tâches).

Le grand avantage de la seconde conception est avant tout fonctionnel (scientifiquement, elle est beaucoup plus discutable) : elle permet de se demander si telles conditions favorisent tel apprentissage sans avoir à se demander pourquoi elles favorisent ou pas tel autre apprentissage. Les études qui ont évalué expérimentalement les effets des conditions d'apprentissage et de l'utilisation du corps sont assez hétérogènes et vont d'apprentissages simples mémoriels (mémoriser la forme des lettres de l'alphabet, des mots de vocabulaire) à des apprentissages plus complexes (faire des liens et comprendre le sens d'un texte, faire des calculs ou résoudre des problèmes, comprendre les propriétés physiques des objets). De ce fait il est intéressant de s'interroger sur le type de connaissances qui peuvent se construire dans le cadre d'une interaction entre le sujet et un environnement dans lequel il peut produire des actions.

La littérature sur les apprentissages montre de façon récurrente depuis plusieurs dizaines d'années que l'apprentissage à partir du visionnage de vidéos (ou d'images animées) n'est pas souvent efficace quand il s'agit de comprendre un phénomène dynamique complexe, tandis que quand il s'agit d'apprendre un geste technique (réaliser un origami, un chignon, un nœud marin) la vidéo est souvent efficace (Lowe & Schnotz, 2008). Selon la théorie de la charge cognitive, cette différence s'explique parce que dans le premier cas il s'agit d'un

apprentissage de « type scolaire » (ce que l'on fait n'est pas exactement ce que l'on apprend) alors que dans le second cas il s'agit d'un apprentissage par imitation (on fait ce que l'on apprend, on apprend ce que l'on fait). Dans le cas des apprentissages de connaissances primaires, il n'y aurait donc pas de différence entre la charge intrinsèque et la charge essentielle. Quand l'action que l'on observe, l'action que l'on réalise et l'action que l'on apprend sont une seule est même action, alors la charge cognitive serait particulièrement peu importante, ce qui expliquerait l'efficacité de ces apprentissages. Par contre, dans le cas d'apprentissages plus complexes, la multiplicité des encodages pourrait ne pas être suffisante à elle seule.

La majorité des apprentissages scolaires implique la nécessité de passer de représentations concrètes à des représentations symboliques abstraites. La théorie de la cognition incarnée suppose que toute connaissance, y compris conceptuelle, implique des dimensions sensori-motrices. Par exemple, les informations liées à la quantité ou au temps (Sells & Kaschak, 2012) serait représentées par rapport au corps sur un axe devant-derrière ou droite-gauche. Ainsi, les temps de réponse lors de la lecture de phrases qui se rapportent à des évènements futurs sont plus rapides si les participants doivent répondre loin de leur corps, à l'inverse les temps de réponse pour des phrases rapportant des évènements du passé sont plus rapides quand ils doivent répondre en appuyant sur un bouton près de leur corps (Sells & Kaschak, 2011). Les approches incarnées de la cognition soutiennent l'idée que les concepts abstraits sont compris à partir de références à une expérience sensorimotrice plus concrète. Ainsi des auteurs ont pu montrer que le statut social peut être compris en termes d'axe vertical (Schubert, 2005), l'importance en termes de poids (Jostmann, Lakens, & Schubert, 2009), et la moralité en termes de propreté (Schnall, Benton, & Harvey, 2008). La référence au corps serait donc un ancrage de l'apprentissage même pour certains concepts abstraits. A notre connaissance si plusieurs recherches ont mesuré cet ancrage corporel de connaissances

abstraites chez l'adulte, très peu ont tenté d'évaluer les bénéfices de l'action pour des apprentissages scolaires abstraits. Les résultats de ces quelques études ne penchent pas toujours en faveur de la manipulation d'objets physiques concrets pour favoriser la construction de connaissances conceptuelles.

En effet, il semblerait que la manipulation de référents concrets peut venir entraver l'apprentissage et surtout détériorer la compréhension de concepts plus abstraits. Dans ce sens, Kaminski et son équipe (Kaminski *et al.*, 2008; Kaminski, Sloutsky, & Heckler, 2009) montrent que des supports concrets (gâteaux) en comparaison de supports plus abstraits (cercles) permettent de mieux apprendre les fractions. Cependant, les capacités de mobilisation des connaissances ainsi élaborées dans d'autres tâches sont plus importantes pour les enfants ayant appris avec des symboles plus arbitraires. La maîtrise d'un concept passerait donc par un apprentissage s'appuyant sur des supports de plus en plus déconnectés de la réalité concrète. C'est ce que montrent Scheiter, Gerjets, & Schuh (2010) : le passage graduel de représentations concrètes (des arbres) vers des représentations abstraites (carrés verts avec moins de détails) a permis des gains d'apprentissage en résolution de problèmes plus importants que des formats textuels plus abstraits. Pour acquérir de l'expertise, les enfants auraient donc besoin d'être confrontés à des supports concrets, qui évoluent graduellement au cours de l'apprentissage vers des supports plus abstraits, pour faciliter la compréhension et l'appropriation des concepts eux mêmes abstraits. Dans ce cadre, l'utilisation du corps ne serait qu'une étape intermédiaire de l'apprentissage. On peut supposer que cet ancrage corporel pourrait n'être nécessaire qu'à certaines phases d'apprentissage et qu'il faudrait ensuite éloigner progressivement les supports d'apprentissage d'une référence concrète et manipulable, si on souhaite obtenir une construction de connaissances conceptuelles.

6. Conclusion

Le rôle du corps dans les apprentissages symboliques (apprendre à lire, à compter, à parler une langue étrangère) est non-trivial. Pour comprendre pourquoi la mobilisation du corps a un effet parfois positif et parfois négatif sur les apprentissages, la théorie de la charge cognitive et la théorie de la cognition incarnée sont utiles et complémentaires. La théorie de la cognition incarnée met en exergue le rôle fondamental de l'action du corps dans son environnement dans toute activité cognitive, dont l'apprentissage fait partie. Tout apprentissage mobilise nécessairement le corps, la perception de l'environnement et l'action parce que l'humain est continuellement en train de percevoir son environnement et d'y agir. Pour autant, toute action n'améliore pas l'apprentissage, agir plus ce n'est pas forcément apprendre plus. La théorie de la charge cognitive vient apporter une contribution intéressante : elle montre que l'action dans l'environnement peut non seulement être non pertinente relativement à l'apprentissage visé, mais elle peut aussi mobiliser trop de ressources attentionnelles ou conduire les apprenants à traiter des informations trop nombreuses. La théorie de la charge cognitive décrit alors deux types de charge inutile : celle qui concerne les novices, submergés par l'information que la réalisation du geste implique, et celle des experts, conduits à réaliser des traitements inutiles pour eux lors de la mise en œuvre de l'action.

Les travaux sur l'effet de modalité montrent avec une constance remarquable que lors de l'apprentissage de connaissances symboliques c'est souvent la multiplication des registres de perception de l'environnement plus que la multiplication des actions dans l'environnement qui favorise l'apprentissage. L'effet de modalité pourrait être considéré comme général, il inclurait l'effet des actions. On ne sait pas aujourd'hui identifier parfaitement les mécanismes sous-jacents à l'effet spécifique de l'action physique dans l'apprentissage de connaissances symboliques, ce qui constitue un défi pour les recherches futures.

Les effets positifs et négatifs de la mobilisation du corps et des mouvements dans l'apprentissage dépendent enfin très fortement du contenu des connaissances apprises. De façon triviale on peut bien entendu considérer qu'une connaissance motrice (un geste par exemple) mobilise souvent plus le corps et le mouvement qu'une connaissance symbolique (la reconnaissance du mot écrit « LAPIN » par exemple). Mais, de façon intéressante, les travaux au sein du courant de la cognition incarnée soulignent la possibilité d'une construction incarnée de connaissances conceptuelles. Cette question du type de connaissances qui se construisent à travers une pratique incarnée est un enjeu crucial des recherches sur l'apprentissage. Il semble bien hasardeux en effet d'envisager une théorie de l'apprentissage qui ne prendrait pas en compte le contenu de ce qui est appris et les contraintes qu'exerce ce contenu.

Bibliographie

Agostinho, S., Tindall-Ford, S., Ginns, P., Howard, S. J., Leahy, W., & Paas, F. (2015). Giving learning a helping hand: finger tracing of temperature graphs on an iPad. *Educational Psychology Review, 27(3)*, 427-443.

Anderson L.W., Krathwohl D.R., Airasian P.W., Cruikshank K.A., Mayer R.E., Pintrich P.R., Raths J. & Wittrock M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing : A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.

Bara, F., & Gentaz, E. (2011). Haptics in teaching handwriting: the role of perceptual and visuo-motor skills. *Human Movement Science, 30*, 745–759.

Bara, F., Gentaz, E., Colé, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004). The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children's reading acquisition. *Cognitive Development, 19*, 433–449.

Bara, F., Lannuzel, C., Pronost, C. & Calvarin, D. (2013). Utiliser son corps pour apprendre à reconnaître et à tracer les lettres en Grande Section de maternelle. *A.N.A.E.,123.*

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *The Annual Review of Psychology, 59,* 617–645.

Bartlett, F.C. (1932). Remembering: A study in experimental and social psychology. Oxford: Macmillan.

Barwise, J., & Perry, J. (1983). *Situations and attitudes.* Cambridge : MIT Press.

Black, J. B. (2011). Embodied cognition and learning environment design. Theoretical foundations of student-centered learning environments. New York: Routledge.

Brown, M. C., McNeil, N. M., & Glenberg, A. M. (2009). Using concreteness in education: real problems, potential solutions. *Child Development Perspectives*, *3*(3), 160–164.

Chandler, P., & Tricot, A. (Eds.), (2015). Embodying cognition in the classroom: an Early Start to successful and healthy education. Educational Psychology Review, 27 (3)

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. Cognitive psychology, 4(1), 55-81.

Chemero, A. (2009). *Radical embodied cognition.* Cambridge : MIT Press.

Chu, M., Meyer, A., Foulkes, L., & Kita, S. (2014). Individual differences in frequency and salience of speech accompanying gestures: the role of cognitive abilities and empathy. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(2), 694–709.

Clark, A. (1997). *Being there*. Cambridge : MIT Press.

DeLoache, J. S. (2000). Dual representation adn young children's use of scale models. *Child Development, 71*(2), 329–338.

DeLoache, J. S. (2004). Becoming symbol-minded. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(2), 66–70.

Di Luca, S., & Pesenti, M. (2011). Finger numeral representations: More than just another symbolic code. *Frontiers in Psychology, 2,* 272.

Frank, M.C., & Barner, D. (2012). Representing exact number visually using mental abacus. *Journal of Experimental Psychology: General,* 141(1), 134-149.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity: eight learning strategies that promote understanding.* Cambridge University Press.

Gallagher, S. (2005). *How the body shapes the mind.* New-York : Oxford University Press.

Gallagher, S., & Lindgren, R. (2015). Enactive metaphors: learning through full-body engagement. *Educational Psychology Review, 27,* 391-404.

Geary, D.C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist, 43,* 179-195.

Gentaz, E. (2009). *La main, le cerveau et le toucher.* Dunod.

Glenberg, A. M., Gutierrez, T., Levin, J. R., Japuntich, S., & Kaschak, M. P. (2004). Activity and imagined activity can enhance young children's reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, *96*(3), 424–436.

Gibson (1979). *The ecological approach to visual perception.* Boston : Houghton-Mifflin.

Havas, D. A., Glenberg, A. M., & Rinck, M. (2007). Emotion simulation during language comprehension. *Psychonomic Bulletin and Review*, *14*, 36–441.

Izard, V., & Dehaene, S. (2008). Calibrating the mental number line. Cognition, 106(3), 1221-1247.

Jostmann, N. B., Lakens, D., & Schubert, T. W. (2009). Weight as an embodiment of importance. *Psychological Science*, *20*, 1169–1174.

Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2008). Development of number combination skill in the early school years: When do fingers help? *Developmental Science, 11,* 662–668.

Kalénine, S. Pinet, L. & Gentaz, E. (2011). The visuo-haptic and haptic exploration of geometrical shapes increases their recognition in preschoolers. I*nternational Journal of Behavioral Development, 35,* 18-26.

Kaminski, J. A., Sloutsky, V. M., & Heckler, A. F. (2008). Learning theory: Tha advantage of the abstract examples in learning math. *Science, 320*(5875), 454–455.

Kaminski, J. A., Sloutsky, V. M., & Heckler, A. F. (2009). Transfer of mathematical knowledge: the portability of generic instantiations. *Child Development Perspectives*, *3*(3), 151–155.

Kelly, S. D., McDevitt, T., & Esch, M. (2009). Brief training with co-speach gesture lends a hand to word learning in a foreign language. *Language and Cognitive Processes*, *24*, 313–334.

Kiefer, M., & Trumpp, N. M. (2012). embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education, 1*, 15–20.

Lawson, M. J., & Hogben, D. (1998). Learning and recall of foreign-language vocabulary: Effects of a keyword strategy for immediate and delayed recall. *Learning and Instruction, 8(2)*, 179-194.

Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M. T., & Velay, J. L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children : A comparison between handwriting and typing. *Acta Psychologica*, *119*, 67–69.

Lowe, R., & Schnotz, W. (2008). *Learning with animation: Research implications for design*. Cambridge University Press.

Macedonia, M., & Knosche, T. R. (2011). Body in mind: How gestures empower foreign language learning. *Mind, Brain and Education*, *5*, 196–2011.

Macedonia, M., Muller, K., & Friederici, A. D. (2011). The impact of iconic gestures on foreign language word learning and its neural substrate. *Human Brain Mapping, 32,* 982–998.

Manches, A., O'Malley, C., & Benford, S. (2010). The role of physical representations in solving number problems: a comparison of young children's use of physical and virtual materials. *Computers & Education*, *54*(3), 622–640.

Martin, T., & Schwartz, D. L. (2005). Physically distributed learning: adapting and reinterpreting physicals environments in the development of faction concepts. *Cognitive Science*, *29*(4), 587–625.

Mavilidi, M., Okely, A. D., Chandler, P., Cliff, D. P. & Paas, F. (2015). Effects of integrated physical exercises and gestures on preschool children's foreign language vocabulary learning. *Educational Psychology Review, 27* (3), 413-426.

Mayer, R. E. (2011). *Applying the science of learning*. Boston: Pearson/Allyn & Bacon.

McNeil, N. M., & Jarvin, L. (2007). When theories don't add up: disentangling the manipulatives debate. *Theory into Practice*, *46*(4), 309–316.

Novack, M., & Goldin-Meadow, S. (2015). Learning from gesture: how our hands change our minds. *Educational Psychology Review, 27(3),* 405-412.

Pecher, D., & Zwaan, R. A. (2005). *Grounding cognition: The role of perception and action in memory, language and thinking*. Cambridge: Cambridge University Press.

Piaget, J. (1937). La construction du réel chez l'enfant. Neuchatel : Delachaux & Niestlé.

Pouw, W. T., van Gog, T., & Paas, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educational Psychology Review, 26,* 51–72.

Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 576–582.

Ruiter, M., Loyens, S., & Paas, F. (2015). Watch your step children! Learning two-digit numbers through mirror-based observation of self-initiated body movements. *Educational Psychology Review, 27(3),* 457-474.

Sarama, J., & Clements, D. H. (2009). Concrete computer manipulatives in mathematics education. *Child Development Perspectives*, *3*(3), 145–150.

Scheiter, K., Gerjets, P., & Schuh, J. (2010). The acuqisition of problem-solving skills in mathamatics: how animations can aid understanding of sructural problem features and solution procedures. *Instructional Science*, *38*(5), 487–502.

Schubert, T. W. (2005). Your highness: vertical positions as perceptual symbols of power. *Journal of Personaliy and Social Psychology*, *89*, 1–21.

Sells, A. J., & Kaschak, M. P. (2011). Processing time shifts affects the execution of motor response. *Brain and Language*, *117*, 39–44.

Sells, A. J., & Kaschak, M. P. (2012). The comprehension of sentences involving quantity information affects responses on the up-down axis. *Psychonomic Bulletin and Review*, *19*, 708–714.

Sloutsky, V. M., Kaminski, J. A., & Heckler, A. F. (2005). The advantage of simple symbols for learning and transfer. *Psychonomic Bulletin and Review*, *12*(3), 508–513.

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New-York: Springer.

Tellier, M. (2005). *L'impact du geste pédagogique sur l'enseignement/apprentissage des langues étrangères : Etude sur des enfants de 5 ans*. Université Paris-Diderot, Paris VII.

Tellier, M. (2008). The effect of gestures on second language memorisation by young children. *Gesture*, *8*(2), 219–235.

Toumpaniari, K., Loyens, S., Mavilidi, M.F., & Paas, F. (2015). Preschool children's foreign language vocabulary learning by embodying words through physical activity and gesturing. *Educational Psychology Review, 27,* 445-456.

Tricot, A., & Sensevy, G. (sous presse). Théories de l'apprentissage. In *Dictionnaire de l'éducation*. Paris : PUF.

Tulving, E. (1995). *Organization of memory : Quo vadis ?* In M. Gazzaniga (Ed.), The cognitive neurosciences (p. 839-847). Cambridge, Mass : MIT Press

Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). L'inscription corporelle de l'esprit : Sciences cognitives et expérience humain. Editions du Seuil.

Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, E., & Brunel, L. (2014). Act-in : An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology, 26,* 280-306

Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, *21*(3), 317–331.