



HAL
open science

Une théorie motrice de la constitution perceptive

Thierry Pozzo

► **To cite this version:**

| Thierry Pozzo. Une théorie motrice de la constitution perceptive. 2005. hal-00003799

HAL Id: hal-00003799

<https://hal.science/hal-00003799>

Preprint submitted on 20 Jan 2005

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.

Une théorie motrice de la constitution perceptive

Responsable scientifique : Thierry POZZO

Thierry POZZO

ERIT-M/INSERM 0207 Équipe Motricité-Plasticité

Université de Bourgogne

Faculté des Sciences du Sport

Campus Universitaire

BP 27 877

21078 Dijon Cedex

Tél. : 03 80 39 67 07 / Fax. : 03 80 39 67 02

E-mail : thierry.pozzo@u-bourgogne.fr

Équipes partenaires :

- CREA 2000/Université Marc Bloch (Strasbourg II)
- Laboratoire de Physiologie de la Perception et de l'Action CNRS UMR9950 - Collège de France, Paris, France
- INSERM U316, Service universitaire d'Explorations Fonctionnelles et Neurophysiologie en Pédiopsychiatrie, CHU Bretonneau, 37044 Tours Cedex.
- Laboratoire de Psychologie de l'action, Université de Milano-Bicocca Italie

Rappel des enjeux et objectifs

Le premier objectif de ce projet est de confirmer que la perception des actions s'appuie sur la simulation par l'observateur du mouvement observé. Autrement dit que la perception du mouvement biologique ne dérive pas du seul traitement du signal rétinien, mais qu'elle est associée à une exécution mentale de ce mouvement et par conséquent que la kinesthésie de l'observateur est prise en compte pour la perception du mouvement biologique. Une des hypothèses fondamentales du projet est que l'observateur projette son propre corps sur les images du personnage visuellement simulé. En particulier nous pensons que la perception du mouvement biologique exige un référentiel commun à la kinesthésie de l'observateur et à celle de l'observé.

Pour cela nous avons prévu deux expérimentations, l'une qui repose sur la capture du mouvement biologique et l'autre sur la réalité virtuelle et la présence d'un « avatar » dans une tâche « d'affordance » (franchissement d'un obstacle). Pour cette dernière expérience il est prévu des enregistrements EEG.

Enfin, à partir de résultats obtenus dans des champs traditionnellement séparés, notre objectif est de construire un cadre théorique qui combine les progrès récents de la neurophysiologie, certaines observations de psychologie expérimentale, et les interprétations et intuitions à la base de la théorie des kinesthéses de Husserl, et de la Phénoménologie.

Autour de ce noyau central deux opérations seront menées dans la direction de l'application :

- à l'étude de l'autisme et la dimension sociale de la perception du mouvement biologique ;
- des résultats à des méthodes nouvelles d'utilisation de la réalité virtuelle dans l'entraînement des opérateurs dans une entreprise où l'accès aux installations sont dangereux et exigent une simulation préalable (EDF).

Rappel du calendrier des travaux

0-2 mois : Développement des logiciels et interfaces permettant de piloter les expérimentations

2-5 mois : Pré-expérimentations : apprentissage du logiciel informatique et détermination des protocoles expérimentaux définitifs.

5-10 mois : réalisation des parties expérimentales.

8-12 : Dépouillement, analyse, des résultats.

18-24 mois : Déroulement d'expériences complémentaires et rédaction d'articles.

État d'avancement à mi-parcours (septembre 2002)

Études en cours

I.1) De la perception à la compréhension de l'action.

Perspectives dans l'autisme.

Principal investigateur : S. Cochin (INSERM U316 – CHU Bretonneau – Tours)

L'interaction entre l'individu et son milieu est cruciale pour agir et comprendre son entourage. Cette relation nécessaire entre l'observateur et son milieu est fixée par le concept d'« affordances ». Les affordances correspondent aux potentialités d'action offertes par les objets lors de leur perception compte tenu du répertoire sensori-moteur de l'agent. Elles permettent à un individu par la mise en œuvre de représentations internes du mouvement d'anticiper et d'ajuster son comportement à une situation. Le protocole construit en réalité virtuelle consiste à décider de la passabilité d'une porte pour soi-même et pour une tierce personne.

Les premiers résultats obtenus chez 40 adultes âgés de 20 à 55 ans (Cochin et al. 2002a et b) révèlent qu'en vue égocentrée, quand la porte est très étroite ou très large les temps de réaction sont courts puisque la prise de décision est facile et donc rapide mais pour une largeur intermédiaire où la prise de décision est la plus difficile, les temps de réaction sont les plus longs. Ce point critique correspond à la largeur de passage pour laquelle le sujet doit modifier sa stratégie motrice pour pouvoir le franchir (Cochin et al. 2002a). En vue allocentrée, les sujets doivent estimer la passabilité de la porte soit pour un personnage en mouvement, soit pour ce même personnage sous forme de pantin non articulé ou pour une boîte. Le temps de réaction est le plus long lorsque le sujet doit prendre la perspective du personnage en mouvement puisque cela nécessite un traitement complexe nécessaire à l'estimation des compétences motrices de cet autre individu. Ce traitement intègre le schéma corporel et les lois biomécaniques inhérentes à cette autre personne (Cochin et al., en préparation). Cette étude fait l'objet d'un poster au congrès ICON8 (septembre 2002).

Au vu de ces résultats il nous est apparu intéressant de récolter les mêmes données chez un groupe de personnes âgées de 65 à 80 ans pour appréhender les effets liés à l'âge. Nous supposons que certains déficits dans l'habileté motrice chez les personnes du troisième âge pourraient être mis en relation avec une altération des processus engagés dans la perception des affordances. Cette étude a fait l'objet du stage de DEA de Delphine Hemery soutenu en juin 2002. La répartition des sujets en trois groupes (20-35; 45-60; 65-80 ans) ne met pas en évidence de différence selon l'âge mais lorsque l'angle de point de vue de la scène est de 45° les personnes âgées entre 65 et 80 ans ont un taux de bonnes réponses très nettement inférieur aux deux autres groupes.

Cette étude sera maintenant adaptée à une population d'adultes autistes pour aborder les troubles de la représentation de soi et d'autrui dans ce syndrome. En effet, l'autisme est un trouble global et précoce du développement, apparaissant

avant l'âge de 3 ans. Ce n'est pas un handicap rare puisqu'il touche 1 naissance sur 1000. Les hypothèses actuelles tendent à dire que les troubles de la communication et de la socialisation qui caractérisent l'autisme seraient sous-tendus par un déficit profond et précoce de fonctions élémentaires telle que l'imitation. L'hypothèse de travail est que ce déficit de l'imitation des gestes et des mimiques serait la conséquence d'un dysfonctionnement cérébral de la perception visuelle du mouvement biologique.

Le enregistrement de l'activité électrique cérébrale pendant que des adultes sains observent sur un film vidéo des plans fixes ou des plans animés non humains ou humains met en évidence une désynchronisation de l'EEG qui est spécifique à l'observation du mouvement humain. Cette activation corticale est visible dans les régions centropariétales et implique préférentiellement l'hémisphère gauche. Cette désynchronisation est obtenue dans le rythme mu qui était jusqu'à ce jour uniquement connu pour s'activer lors de l'exécution d'un mouvement (Cochin et al., 1998). Cette recherche a donc révélé que ce rythme mu peut également être activé lors de l'observation d'un mouvement réalisé par autrui. C'est pour cette raison que dans un second protocole nous avons retrouvé un pattern identique de désynchronisation lorsque les sujets observent des mouvements en situation réelle mais aussi lorsqu'ils exécutent ces mêmes mouvements. Cette identité de réponse laisse supposer que l'observation et l'exécution d'un mouvement biologique partagent un réseau neuronal commun (Cochin et al., 1999).

Le même protocole réalisé chez l'enfant sain montre comme chez l'adulte une désynchronisation de l'EEG lors de la perception d'un mouvement humain localisée au niveau de l'HG en regard des aires motrices et fronto-temporales. De plus en accord avec le processus de maturation de l'EEG, cette désynchronisation est retrouvée dans la bande de fréquence thêta qui est le rythme dominant chez l'enfant (Cochin et al., 2001). L'examen simple des cartographies EEG laisse penser que la réactivité corticale à l'observation d'un mouvement est similaire entre les enfants sains et 9 enfants autistes qui ont participé à l'étude. Mais notre étude met en évidence deux résultats principaux chez les autistes. D'une part un retard de maturation de l'EEG révélé par la supériorité des puissances spectrales des autistes, et d'autre part l'analyse fine révèle chez eux un pattern atypique d'activation hémisphérique se traduisant par une inversion de la réactivité hémisphérique. Chez les enfants sains l'activation est toujours présente dans l'HG lors de la perception d'un mouvement alors que chez les autistes l'hémisphère droit est dominant dans les régions postérieures (Cochin et al., 2002b).

Les résultats obtenus précédemment chez les sujets témoins s'accordent avec l'hypothèse émise par Rizzolatti et al. (1999 pour une revue)¹ qui postule pour l'existence d'un même réseau neuronal partageant l'observation et l'exécution d'un mouvement biologique. Ce réseau neuronal serait impli-

1. Rizzolatti G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V. (1999) Resonance behaviors and mirror neurons. Arch Ital Biol. 137 : 85-100.

qué notamment dans les mécanismes de perception, de compréhension et d'imitation des actes d'autrui si indispensables pour le développement des interactions sociales. Ce réseau ferait intervenir des neurones dits « miroirs » parce qu'ils déchargent aussi bien lorsque le sujet observe ou exécute une action; les techniques d'imagerie commencent à mettre à jour ce réseau qui serait présent particulièrement dans l'hémisphère gauche, et ferait intervenir le STS, le complexe MT/V5, le lobe pariétal inférieur et peut-être l'aire de Broca. Ces résultats antérieurs suggèrent que l'autisme serait associé à un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche particulièrement dans la région temporo-pariéto-occipitale. Un dysfonctionnement de cette région pouvant affecter le système « miroir » serait à l'origine des troubles de l'imitation et de la communication caractéristiques de ce syndrome.

I.2) Lois motrices et reconnaissances du mouvement biologique (équipe INSERM/ERIT-M 0207 - Dijon)

La psychologie, notamment à partir de la théorie de la perception directe (Gibson, 1979), a bien montré la sensibilité de la vision aux actions du vivant. Néanmoins, les mécanismes internes et le versant moteur de ce processus n'ont été que rarement considérés. L'étude récente des substrats nerveux impliqués dans la perception du mouvement biologique (Cochin et al. 1999, Leggio et al. 2000, Neri et al. 1998, Rizzolatti et al. 1996), démontre la similarité des structures nerveuses impliquées dans l'observation et dans l'exécution du mouvement. L'idée que la perception est une simulation de l'exécution a déjà été formulée par des membres de ce groupe (Droulez et Berthoz 1988, Berthoz 1997). Néanmoins, de nombreuses questions restent sans réponse. La perception visuelle consiste-t-elle également en une action simulée? Quel est le contenu de cette simulation? L'empathie, composante de l'observation des actions, qui pourrait ainsi correspondre à une forme de mime implicite, est-elle limitée à la capacité d'exécuter la tâche en respectant les lois du mouvement? Pour répondre à ces questions les études d'imagerie cérébrale doivent être complétées par l'approche psychophysique.

L'objectif de cette partie du projet consiste à démontrer a) que l'examen visuel du mouvement biologique repose sur des **boucles endogènes** qui consistent à simuler des modèles internes de l'action et b) que les **contraintes nerveuses et biomécaniques** (identifiées sous la forme d'invariants cinématiques) conditionnent les mécanismes perceptifs. Enfin, il s'agit c) de tester le **rôle du référentiel postural dans l'extraction d'invariants moteurs de scènes visuelles**. Notre hypothèse est que la **verticalité de la posture** normale debout étant l'expression de la résistance active de l'organisme à la pesanteur, celle-ci joue un **rôle structurant pour le monde perçu**.

1.2.1 Perception du mouvement et Simulation de l'action

Deux types d'approches ont permis d'étudier cette question.

La première consiste à utiliser les méthodes de l'imagerie motrice et de la chronométrie mentale. Notre objectif ici est de mieux comprendre les mécanismes cognitifs à l'œuvre lors de la simulation mentale volontaire pour mieux comprendre ceux de la perception visuelle du mouvement biologique. En effet, nous pensons que l'imagerie motrice s'appuie sur des

mécanismes de simulation mentale qui sont les mêmes que ceux mis utilisés lors de l'observation. Autrement dit, l'observation du mouvement biologique déclencherait implicitement un mécanisme de simulation de l'action qui en revanche est initié explicitement lors de l'imagerie motrice. a) Le premier axe de recherche consiste à étudier les effets de contraintes gravitaires et temporelles sur ces mécanismes. b) Le deuxième axe étudie l'effet de l'observation sur la performance motrice. En effet, si observation et imagerie motrice mobilisent le cortex moteur, alors on devrait observer une amélioration de la performance après observation comme c'est le cas lors de l'entraînement mental.

a) Effet des contraintes gravitaire et temporelle sur les mécanismes de l'imagerie motrice et de la perception du mouvement biologique.

Principal investigateur: C Papaxanthis (INSERM/ERIT-M 0207 - Dijon)

Un certain nombre de travaux ont montré une isochronie entre un mouvement réel et imaginé suggérant ainsi que les mêmes processus cognitifs sont impliqués dans les deux types d'exécution du mouvement. Notre objectif était d'étudier le rôle de la mémoire à court terme dans l'isochronie quasi-parfaite observée entre un mouvement exécuté réellement et mentalement. Notre idée est que l'isochronie dans l'exécution d'un mouvement réel et simulé peut provenir du fait que les deux mouvements sont exécutés avec un délai temporel très court. En effet la trace sensori-motrice restée en mémoire à court terme après l'exécution réelle d'un mouvement pourrait guider son exécution mentale. Nos résultats (Papaxanthis et al. 2002a) montrent que l'isochronie entre mouvement exécuté réel et imaginé persiste quand le mouvement en imagination est exécuté avant le mouvement réel et aussi quand un intervalle temporel assez long (1h15) sépare les 2 formes d'exécution.

Un autre objectif consistait à vérifier si les contraintes dynamiques de l'environnement (force de gravité) sont prises en compte dans les processus de simulation. En effet lors de l'imagerie motrice les contraintes externes ne s'exercent pas sur le corps et on pourrait penser que le cerveau ne les prend pas en compte lors de la simulation. Les résultats des expériences d'imagerie mentale après une longue exposition en apesanteur (Papaxanthis et al. 2002c) et ceux d'expériences réalisées en gravité terrestre (Courtine et al. 2002, Papaxanthis et al. 2002b) montrent que les aspects cognitifs du mouvement au même titre que les processus de programmation du mouvement sont influencés par la dynamique de l'environnement dans lequel le geste évolue,

Enfin, dans une troisième série d'expérimentation réalisée en collaboration avec N Stucchi de Milan, nous avons testé la capacité des sujets à estimer la durée d'un mouvement sagittal du bras projetée sur un écran. Alors que la fin du mouvement est masquée, le sujet doit indiquer l'instant ou la position finale du bras. Plusieurs variables sont testées: la direction du mouvement (haut versus bas), l'amplitude du masque (40 % et 20 %), la position initiale du bras (20°, 30°, 40° par rapport à la verticale) et la cinématique du bras (profils de vitesse biologiques versus non biologiques). Les premiers résultats indiquent que l'erreur d'estimation de durée 1) est inférieure à

10 % de la durée totale pour les mouvements biologiques et 2) augmente significativement lorsque le bras se déplace selon un profil de vitesse non biologique. L'étude suggère le recours à des processus de simulation mentale lors de l'observation et que l'estimation du temps du mouvement repose sur l'utilisation de modèles internes rapidement mis en œuvre (<400 ms) et contenant les contraintes cinématiques spécifiques aux déplacements exécutés dans le plan sagittal. Nos résultats confirment ceux de Vivianni et Stucchi (1992) qui ont par exemple montré que la perception visuelle du mouvement est contrainte par les mêmes lois que celles qui sous-tendent la production des mouvements. Un article en préparation sera soumis en décembre 2002.

b) Liaison Perception-Action: apprentissage et reconnaissance.

Principal investigateur: M. Kholer (INSERM/ERIT-M 0207 - Dijon)

Dans cette étude nous avons étudié les relations entre perception et action. Une première série d'expérimentation consistait à étudier l'effet de l'observation répétée sur l'amélioration de la performance motrice chez des acrobates en phase d'apprentissage d'une figure complexe. Nos résultats montrent un meilleur apprentissage grâce à la pratique physique plutôt que par l'en-

traînement visuel seul. Néanmoins, l'entraînement visuel permet de réaliser une tâche complexe que les sujets du groupe contrôle (sans entraînement physique et visuel) sont incapables d'exécuter. Enfin, un entraînement mixte (visuel et physique) conduit à des performances significativement supérieures à un entraînement physique ou visuel (Kholer et al. 2002b).

Pour la deuxième étude, nous avons testé l'influence du niveau de performance sur la capacité à reconnaître le mouvement. L'étude précédente abordait la liaison Perception-Action en partant de la dimension perceptive (l'effet de l'observation sur l'action). Cette étude complète la précédente dans la mesure où la liaison Perception-Action est ici appréhendée à partir de l'action (le niveau de performance motrice). La tâche consiste à demander aux sujets de discriminer 2 styles de réalisation d'un même mouvement acrobatique. Les résultats montrent une meilleure perception du mouvement chez les experts comparés aux sujets de niveau intermédiaire confirmant l'idée d'une médiation de la perception par la connaissance implicite des lois motrices (Kholer et al. 2002a, Fouque et Pozzo 2002).

Ces travaux ont fait l'objet de 2 posters et d'une présentation orale lors du Congrès Mouvement, Attention & Perception, à Poitiers en juin 2002. Deux articles en préparation seront soumis avant la fin 2002.

Programme de travail prévu pour l'année 2003

Le programme de travail pour 2003 consistera en partie à terminer la rédaction des articles issus des travaux en cours et à poursuivre les séries expérimentales suivantes:

- Perception des mouvements du bras et modèle interne de la gravité:
 - effet sur l'estimation de la position
 - effet de l'orientation de l'observateur et de l'altération de la verticale subjective
 - effet de la position initiale du bras: les valeurs qui seront testées permettront l'observation de mouvements exécutés avec des phases avec et contre l'action de la gravité.
 - Enfin, la première étude a suggéré que la perception visuelle du mouvement est contrainte par les mêmes lois que celles qui sous-tendent la production des mouvements. Nous vérifierons cette hypothèse sur des tâches locomotrices. Par exemple, Grasso et al. (2000) ont récemment décrit des lois d'organisation de la locomotion, i.e. l'invariance des plans de co-variation des segments inférieurs quelle que soit la posture du tronc ou le sens du déplacement. Plusieurs travaux ont également mis en évidence que les schèmes locomoteurs dépendent de la verticale gravitaire. (Pozzo et al. 1990, 1995, Borghese et al. 1996, Courtine et al. 2001). La tâche consistera à demander à des sujets sains de reconnaître le mouvement humain, à savoir un mouvement locomoteur dont on contrôlera la quantité (la tête, les pieds ou seulement le centre de gravité) et la qualité (points ou liaisons rigides en mouvement sur un fond de point en déplacement aléatoire) des segments corporels affichés à l'écran. Le temps de réaction lors de

l'identification des actions ainsi que la capacité de discriminer deux modes d'exécution d'un même mouvement seront mesurés.

- Pathologie de la liaison Perception-Action

- Effet de l'hypoactivité sur la capacité à reconnaître le mv: si nos hypothèses concernant la réciprocité des liens entre Perception et Action sont justes, nous nous attendons à une dégradation de la perception du mouvement biologique à l'hypoactivité (sujets jeunes sédentarisés accidentellement ou personnes âgées en institution).
- A l'inverse, nous testerons la plasticité des modèles internes à l'entraînement par l'observation chez des patients souffrant de troubles centraux (AVC et démence sénile) ou périphériques (lésions de l'appareil locomoteur). Enfin, dans le cadre des applications au domaine de la santé, les résultats de ces études conduiront à la mise au point de programmes de reconditionnement moteur par l'observation.

- Perception des affordances chez un groupe de patients autistes adultes

L'expérimentation fera l'objet d'une étude pilote chez un groupe de patients autistes pour apporter de nouveaux éléments à la compréhension des troubles de la perception des actions reconnues dans ce syndrome. Cette étude permettra dans cette population de caractériser les éventuels troubles liés aux référentiels (égocentré, allocentré) et à la représentation des actions de soi et d'autrui. Cette étude sera envisagée auprès d'adultes autistes (N = 8, droitiers, masculins)

recrutés par le Service Universitaire d'Explorations Fonctionnelles et Neurophysiologie en Pédiopsychiatrie du CHU de Tours (Pr. C. Barthélémy).

• Electrophysiologie de la perception des affordances

Une seconde approche de la perception des affordances consistera en une étude de la réactivité corticale de l'anticipation motrice simple grâce à la technique de désynchronisation liée à l'événement (DLE). Cette méthode consiste à mesurer l'évolution temporelle de la puissance du signal EEG dans une bande de fréquence donnée avant, pendant et après un événement. La DLE correspond à l'atténuation de l'am-

plitude d'un rythme EEG en rapport avec un stimulus. Les DLE traduisent l'activation des aires corticales sous-jacentes. Cette technique devrait nous permettre d'étudier les problèmes d'anticipation reconnus chez les autistes.

• Organisation de séminaires

- Le groupe a organisé un séminaire sur « autisme et perception des actions d'autrui » à Tours en mars 2002 (voir le compte rendu ci dessus).
- Un deuxième atelier de travail portant sur « Référentiels et perception du mouvement naturel », qui rassemblera philosophes, neurophysiologistes, psychiatres, neuropsychologues, psychologues et spécialistes de l'autisme est prévue pour juin 2003.

Publications issues du projet

Ouvrage

Petit, J.-L., & Berthoz, A., (2002). *Phénoménologie et Physiologie de l'Action*. Odile Jacob, Paris.

Revue à comité de lecture

Barthélémy C, Bruneau N, Martineau J, Bonnet-Brillault F, Adrien JL, Roux S and Zilbovicius M. (2002). Sensory dysfunction in autism: a clinical and neurophysiological approach. *Journal of Child Neurology*, sous presse.

Cochin S, Amorim MA, Vidal M, Berthoz A (2002a) Walking through apertures in a virtual world: from subjective virtual body to passability. Soumis à *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.

Cochin S, Barthélémy C, Martineau J (2002b). Autism and human motion perception: a qEEG study. Soumis à *Neuroreport*.

Cochin S, Amorim MA, Thibault G, Berthoz A (2002c). Simulation and affordances of another person's action in a virtual world. En préparation.

Courtine G, Papaxanthis C, Gentili R, Pozzo T (2002) Covert and overt execution of various locomotor tasks (soumis à *Cog Brain Res*).

Papaxanthis, Pozzo T, Skoura X, Schieppati M. (2002a) Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behavioural Brain Research* (sous presse).

Papaxanthis C, Schieppati M, Gentili R, Pozzo T (2002b) Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass. *Exp Brain Res* (sous presse).

Papaxanthis C, Pozzo T, Berthoz A (2002c) Microgravity affects both motor execution and motor imagery processes (Soumis à *Neuroscience Letters*).

Petit, J.-L., (2002). Repenser le corps, l'action et la cognition avec les neurosciences. Dossier de la revue *Intellectica*, organisé par Petit, J.-L., sous la dir. de A. Berthoz, Actes des ateliers « philosophie de l'action et neurosciences », au Collège de France, 250 p.

Petit, J.-L., (2002). La spatialité originaire du corps propre. Phénoménologie et neurosciences. *Revue de Synthèse*, N° spécial *Géométrie & Cognition*, publié sous la dir. de G. Longo.

Chapitres d'ouvrages collectifs

Petit, J.-L., (2002). Empathie et intersubjectivité. Séminaire de A. Berthoz, Les bases neurales de l'empathie, publ. sous la dir. de G. Jorland, Odile Jacob.

Petit, J.-L., (2002). Perspectives on Intentionality in Phenomenology, Analytical Philosophy, and Neuroscience, Chap. corédigé avec J.-M. Roy, in *Naturalising Intention in Action*, ouvrage collectif du programme *Cognitive CNIA*, publ. sous la dir. de F. Grammont.

