

S'IMAGINER AGIR OU IMAGINER AUTRUI AGIR

LA QUESTION DE L'AGENTIVITE ABORDÉE EN NEUROIMAGERIE FONCTIONNELLE

Perrine RUBY et Jean DECETY

Inserm unité 280
151 Cours Albert Thomas
69424 Lyon cedex 3
pruby@lyon151.inserm.fr

Résumé

Prendre une perspective subjective différente de la sienne est une composante essentielle de notre capacité à interagir avec autrui. Elle interviendrait notamment dans notre faculté, appelée agentivité, à distinguer soi d'autrui. La simulation mentale de l'action a été utilisée pour élaborer un paradigme écologique de prise de perspective. Il nous a permis d'explorer les mécanismes neuronaux impliqués dans la distinction entre soi et autrui. L'activité cérébrale de 10 sujets sains a été mesurée en tomographie par émission de positons pendant qu'ils s'imaginaient en train de réaliser une action (perspective en 1ère personne) et pendant qu'ils imaginaient l'expérimentateur réaliser la même action (perspective en 3ème personne). Ces deux conditions d'activation, comparées à la condition contrôle, ont donné lieu à des augmentations de débit sanguin dans des régions communes (aire motrice supplémentaire, gyrus précentral, précuneus et MT/V5). Par ailleurs, quand la perspective en 3ème personne est directement comparée à la perspective en 1ère personne, elle est associée à des activations dans le gyrus cingulaire postérieur gauche, le lobule pariétal inférieur, le précuneus, et le cortex frontopolaire droits. La comparaison inverse met en évidence des augmentations de débit dans le lobule pariétal inférieur et le cortex somatosensoriel dans l'hémisphère gauche. En regard de ces résultats, nous faisons l'hypothèse que le cortex pariétal inférieur droit, le précuneus et le cortex somatosensoriel jouent un rôle spécifique dans la distinction entre nos propres actions et celles réalisées par autrui.

Abstract

The process of perspective taking enables us to take into account that the other is different from the self. This ability is key to make an accurate prediction of the other's thoughts and behavior. In this sense perspective taking is an essential component in our capacity to interact with others. Mental simulation of action may be used as a natural paradigm to explore the cognitive and neural processing involved in motor perspective taking. Here positron emission tomography was used to measure regional cerebral blood flow while subjects either imagined themselves performing an action (first-person perspective condition) or imagined the experimenter executing the same action (third-person perspective condition). Both conditions were associated with common activation in the SMA, the precentral gyrus, the precuneus and the MT/V5 complex. When compared to First-person, the Third-person perspective recruited the right inferior parietal, the precuneus, the posterior cingulate and the frontopolar cortex. The opposite contrast revealed activation in left inferior parietal and somatosensory cortex. Those results led us to suggest that the right inferior parietal, precuneus and somatosensory cortex play a specific role in distinguishing self produced actions from those generated by others.

1. Introduction

Le terme de théorie de l'esprit désigne un domaine de recherche qui a pour but d'expliquer notre capacité à prédire et comprendre nos propres actions et celles réalisées par d'autres agents intelligents. Deux types d'approches tentent de rendre compte du mécanisme cognitif qui sous-tend cette capacité. Les « théories Théoriques » soutiennent qu'une théorie de psychologie populaire est à l'origine de cette aptitude (Gopnik et Meltzoff, 1998). Selon les « théories de la simulation » par contre, comprendre autrui repose sur un processus de simulation qui consiste à épouser la perspective de l'autre, c'est-à-dire à se projeter dans la situation que rencontre autrui, et à produire de façon déconnectée les réponses (décisions, émotions) que l'on produirait soi-même dans cette situation (Gallese et Goldman, 1998 ; Goldman, 1992 ; 2000). La justesse des inférences qui découlent de ce processus dépend donc de la qualité de la projection. Celle-ci doit parvenir à mettre à l'écart les croyances qui sont étrangères à la cible, et en particulier ses propres croyances (Grivois et Proust, 1998). Cet exercice requiert donc d'avoir la faculté de distinguer

clairement la limite entre soi et autrui. La notion d'agentivité qui se définit comme la capacité à attribuer une action à son véritable auteur, rejoint donc la problématique abordée par la théorie de la simulation (Daprati *et al.*, 1997 ; Gallagher, 2000 ; Georgieff et Jeannerod, 1998 ; Grivois et Proust, 1998).

Cette dernière théorie a suscité un intérêt considérable dans les domaines de la philosophie de l'esprit, de la psychologie cognitive et récemment dans la communauté des neurosciences.

L'imagerie motrice a été le moyen le plus pertinent utilisé en neuroimagerie fonctionnelle pour tenter d'apporter des arguments neurophysiologiques en faveur de la théorie de la simulation. Elle peut être considérée comme la représentation interne d'une action donnée sans manifestations motrices. C'est un moyen d'accéder aux intentions et aux plans moteurs. Elle peut donc être utilisée comme outil pour élaborer un paradigme écologique de prise de perspective permettant d'aborder la question de l'agentivité au niveau représentationnel (pour une revue voir Decety, 2001). Jusqu'à maintenant l'imagination de l'action a toujours été abordée selon

une perspective en première personne dans des études utilisant l'imagerie motrice. Plusieurs travaux de neuroimagerie ont pu montrer grâce à ce type de paradigme une équivalence fonctionnelle remarquable entre l'imagination et l'exécution de l'action. Le réseau neuronal identifié comprend le lobule pariétal inférieur, le cortex prémoteur et l'aire motrice supplémentaire (AMS) dans l'hémisphère controlatéral à la main dominante et le cervelet dans l'hémisphère ipsilatéral (Decety *et al.*, 1994 ; Lotze *et al.*, 1999 ; Stephan *et al.*, 1995). Des cas de patients neurologiques souffrant de déficits moteur et représentationnel après une lésion du cortex pariétal apportent des arguments supplémentaires en faveur d'un recouvrement des réseaux neuronaux impliqués dans l'exécution et l'imagination de l'action (Ochipa *et al.*, 1997 ; Sirigu *et al.*, 1996). Les avancées récentes en neurosciences cognitives ont ainsi pu montrer que des régions cérébrales identiques sont impliquées au cours de l'exécution, de l'imagination et même de l'observation de l'action (pour une méta-analyse voir Grèzes et Decety, 2001).

De ces études découle cependant une question cruciale : si produire une action, s'imaginer la réaliser et l'observer fait appel aux mêmes ressources neuronales, comment parvient-on alors à faire la distinction entre nos propres actions et celles réalisées par autrui ? Il doit exister, au niveau neuronal, une distinction entre une représentation de l'action en 1^{ère} personne et une représentation en 3^{ème} personne.

Le but de cette étude était de tester l'effet d'une prise de perspective subjective sur le réseau neuronal engagé au cours de l'imagination de l'action. Les sujets devaient soit s'imaginer en train de réaliser une action donnée (perspective en 1^{ère} personne) soit imaginer l'expérimentateur en train de réaliser cette même action (perspective en 3^{ème} personne). Deux modalités perceptives ont été utilisées pour amorcer l'imagination, de manière à pouvoir identifier les régions cérébrales impliquées dans la prise de perspective indépendamment de l'entrée sensorielle. Les stimuli utilisés pour contraindre l'imagination étaient soit des photos d'objets familiers soit des phrases décrivant des actions familières. Les photos d'objets ont été utilisées pour rester dans des conditions comparables aux études de neuroimagerie précédentes dans lesquelles l'imagerie mentale était généralement initiée avec ce type de stimuli. Cependant, nous avons également choisi des stimuli utilisant le langage pour leur caractéristique écologique. En effet une des situations les plus naturelles dans laquelle on utilise et on joue avec la variation de perspective est sûrement la communication verbale, qu'elle soit écrite ou parlée (romans, discussions).

2. Méthode

2.1. Sujets

Dix sujets sains droitiers de sexe masculin ont été recrutés pour cette étude (24.2 ± 2.9 ans). Tous ont signé un formulaire de consentement en accord avec la déclaration d'Helsinki après avoir lu une notice d'information sur le protocole et la technique utilisés. Ils ont été indemnisés en contrepartie de leur participation.

Cette étude a reçu un avis favorable du comité d'éthique local (CCPPRB, du Centre Léon Bérard, Lyon).

2.2. Paradigme

Le protocole d'activation comprend six conditions expérimentales, 4 conditions d'intérêt (A1, A3, V1, V3) et 2 conditions de contrôle (AC, VC). Toutes les conditions ont été dupliquées (i.e. 12 scans par sujets) et présentées aux sujets dans un ordre pseudo aléatoire. La moitié des conditions était constituée de stimuli visuels (V1, V3, VC), l'autre moitié de stimuli auditifs (A1, A3, AC). Pendant les sessions d'enregistrement, les conditions auditives et visuelles n'ont jamais été mélangées. La moitié des sujets a vu d'abord les conditions visuelles puis les conditions auditives, l'autre moitié a commencé par les conditions auditives. Toutes les actions sélectionnées pour cette étude requièrent l'utilisation de la main droite.

Conditions visuelles : au cours de chacune de ces conditions (V1, V3, VC) les sujets ont vu des photos d'objets usuels sur fond noir (un rasoir, une pelle, une balle...). Chaque photo était présentée pendant 5 secondes. Dans la condition V1, les sujets devaient s'imaginer en train de saisir et d'utiliser l'objet présenté sur la photo pendant tout le temps de présentation du stimulus (perspective en 1^{ère} personne). Dans la condition V3, il était demandé aux sujets d'imaginer l'expérimentateur en train de saisir et d'utiliser les mêmes objets que ceux présentés dans la condition V1 (perspective en 3^{ème} personne). La même série de photos d'objets (N=14) a donc été utilisée pour ces deux conditions, seul l'ordre de présentation des stimuli variait entre V1 et V3. Dans la condition VC, les sujets devaient regarder passivement une autre série de photos d'objets.

Conditions auditives : pendant les conditions A1, A3 et AC les sujets entendaient la voix de l'expérimentateur provenant d'un CD préalablement enregistré. Chaque phrase débitée durait approximativement 2 secondes et était suivie d'une période de silence de 3 secondes. À la fin de l'intervalle silencieux, un son d'une durée de 300 ms prévenait le sujet qu'une nouvelle phrase allait arriver. Chaque condition auditive comprenait 14 phrases. Dans les conditions A1 et A3, la même série de phrases a été utilisée. Elles décrivaient toutes des actions courantes. L'expérimentateur s'adressait aux sujets à l'indicatif présent et parlait soit pour dire qu'il réalisait une action en utilisant le pronom « je », dans la condition A3 (ex : j'agrafe des feuilles) soit pour dire que le sujet réalisait une action en utilisant alors le pronom « vous » dans la condition A1 (ex : vous agrafez des feuilles). Dans ces deux conditions, les sujets devaient imaginer ce que l'expérimentateur disait, c'est-à-dire imaginer l'expérimentateur agir dans la condition A3 et s'imaginer en train d'agir dans la condition A1. Dans la condition AC la voix de l'expérimentateur disait au sujet qu'il était en train de regarder un paysage (ex : vous voyez un champ de blé), les sujets devaient alors s'imaginer dans cette situation. Les paysages décrits ne comprenaient ni mouvement ni êtres vivants.

Tous les sujets ont été entraînés pour chacune des conditions. Ils ont d'abord pris connaissance du dispositif expérimental mais aussi de la voix, de la physiologie et de la personnalité de l'expérimentateur. Ils ont ensuite été familiarisés avec les tâches de prise de perspectives

subjectives au cours de l'imagination de l'action. Ils se sont entraînés plusieurs fois à s'imaginer en train d'agir et à imaginer l'expérimentateur en train d'agir. Dans le cas de l'imagination d'autrui, il a été précisé au sujet de s'habituer à imaginer l'expérimentateur de 3/4 de manière à éviter l'émergence d'un conflit de latéralisation au cours de la tâche. Les stimuli utilisés pendant la séance d'entraînement étaient différents de ceux utilisés au cours des enregistrements TEP.

2.3. Procédure expérimentale

L'émission radioactive est enregistrée grâce à une caméra Siemens ECAT HR+ (CTI Siemens, Knoxville) munie de 32 couronnes de détection permettant l'acquisition de 63 coupes axiales jointives de 2,42 mm d'épaisseur (couverture axiale est de 155 mm). Toutes les paires de rayons gamma sont collectées en mode 3D. Un programme de reconstruction permet de convertir les événements détectés par le scanner en images cérébrales montrant la distribution de la radioactivité au cours des 60 secondes d'enregistrement.

Les sujets sont allongés sur le lit de la caméra. Un masque thermorétractable est moulé sur leur visage pour minimiser les mouvements de la tête au cours de l'enregistrement. Le bolus d'eau radioactive (9 mCi) est injecté par un automate grâce à un cathéter posé dans la veine radiale. L'acquisition débute dès que le traceur parvient au cerveau, alors que le sujet est déjà en train de réaliser la tâche, et dure 60 secondes. Un intervalle de 10 minutes sépare les injections.

Dans les conditions visuelles, un projecteur numérique (800 x 600 pixels) relié à l'ordinateur de contrôle projette les images sur un écran tendu derrière la caméra. Les sujets peuvent voir les stimuli grâce à un dispositif de jeu de miroir. La distance entre les yeux et l'écran, imposée par ce dispositif, est de 50 cm ce qui correspond à un angle de vue de 42° horizontalement et de 32° verticalement. Dans les conditions auditives, un lecteur CD a été utilisé pour lire le CD enregistré avec la voix de l'expérimentateur.

2.4. Analyse des données

Les images ont été reconstruites et analysées avec le logiciel *Statistical Parametric Mapping* (SPM99; Wellcome Department of Cognitive Neurology, UK; Friston *et al.*, 1995) implémenté dans MATLAB 5 (Math Works, Natick, MA, USA). Pour chaque sujet, les images ont été réalignées entre elles puis normalisées dans l'espace stéréotaxique du MNI. Un filtre gaussien (FWHM 12 x 12 x 12) a ensuite été appliqué sur les données.

Pour l'analyse statistique des données, chaque scan de chaque sujet a été standardisé en divisant la valeur de chaque voxel par la moyenne totale du scan. L'effet condition (variable d'intérêt) et l'effet sujet (variable de non-intérêt, effet fixe) ont été estimés voxel par voxel selon le modèle linéaire généralisé. Les contrastes linéaires ont été calculés pour identifier les différences significatives entre les conditions. Ils ont été utilisés pour créer une carte statistique SPM {t} qui a été transformée en carte SPM {Z}. Le seuil choisi pour les cartes de Z est $p < 0.001$ pour les analyses en conjonction et à $p < 0.0001$ pour les analyses d'effet principaux. La

localisation anatomique a été réalisée grâce à l'atlas de Duvernoy (1991).

Trois analyses en conjonction ont été réalisées. La première avait pour but de mettre en évidence les régions cérébrales activées au cours de l'imagination en 1^{ère} personne par rapport à la condition contrôle et ce indépendamment de la modalité de présentation de stimuli [(A1-AC) en conjonction avec (V1-VC)]. La deuxième a permis de détecter les régions impliquées au cours de l'imagination en 3^{ème} personne par rapport à la condition contrôle, indépendamment de la modalité de présentation de stimuli [(A3-AC) en conjonction avec (V3-VC)]. La dernière autorisait l'identification des régions communément activées dans les conditions d'imagination en 1^{ère} et en 3^{ème} personne [(A1-AC), (V1-VC), (A3-AC) et (V3-VC) en conjonction].

Deux analyses d'effets principaux ont également été effectuées pour mettre en évidence les aires cérébrales spécifiquement impliquées dans la prise de perspective en 3^{ème} personne par rapport à la prise de perspective en 1^{ère} personne [(A3+V3)-(A1+V1)] et inversement [(A1+V1) - (A3+V3)].

Des analyses *post hoc* ont été utilisées pour évaluer l'activité régionale relative dans chaque condition au sein d'une région donnée. Elles permettent de représenter les valeurs de débit sanguin régional ajustées pour un voxel dans chaque condition ce qui objective l'implication différentielle d'une région donnée dans les 6 conditions expérimentales.

3. Résultats

3.1. Perspective en 1^{ère} personne comparée à la condition de contrôle [(A1-AC) & (V1-VC)]

L'imagination en 1^{ère} personne, indépendamment de la modalité de présentation, est associée à une augmentation du débit sanguin cérébral régional (DSCr) à gauche, dans le lobule pariétal inférieur, le gyrus précentral, le gyrus frontal supérieur (AMS postérieure), la jonction occipito-temporale (MT/V5) et l'insula antérieure. Le cervelet et le précuneus sont activés dans l'hémisphère droit (tableau 1, figure 1).

Tableau 1 — Régions détectées quand on compare l'imagination de soi à la condition contrôle indépendamment de la modalité de présentation des stimuli [(A1-AC) & (V1-VC)]. $p < 0.001$, $T > 1.88$. x, y, z coordonnées du MNI. G, D : hémisphères gauche et droit.

Région cérébrale	Coordonnées			
	G/D T	x	y	z
Lobule pariétal inférieur	G	-64	-30	30 5,30
Lobule pariétal inférieur	G	-56	-32	26 4.61
Lobule pariétal inférieur	G	-52	-42	32 4.04
Gyrus frontal supérieur	G	-12	-2	58 4.90
Jonction occipito-temporale	G	-56	-66	4 4.15
Gyrus précentral	G	-26	-16	58 3.81
Cervelet	D	44	-54	-32 3.19
Insula antérieure	G	-30	16	8 2.98
Précuneus	D	6	-68	46 2.90

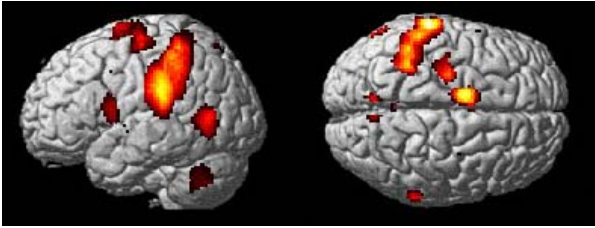


Figure 1 — Foyers d'activation associés à l'imagination de soi en action [(A1-AC) & (V1-VC)] superposés sur une vue sagittale de l'hémisphère gauche et une vue axiale de l'IRM anatomique de SPM99. L'échelle de couleur code du rouge (minimum) vers le jaune clair (maximum) l'intensité des activations (T).

3.2. Perspective en 3^{ème} personne comparée à la condition de contrôle [(A3-AC) & (V3-VC)]

Tableau 2 — Régions activées par l'imagination d'autrui par rapport au contrôle indépendamment de la modalité de présentation des stimuli [(A3-AC) & (V3-VC)]. $p < 0.001$, $T > 1.88$. x , y , z coordonnées du MNI. G, D : hémisphère gauche et droit.

Région cérébrale	G/D	Coordonnées			T
		x	y	z	
Précuneus	D	6	-64	38	5.09
Précuneus	G	-10	-62	38	4.14
Gyrus précentral	G	-22	-14	54	3.70
Jonction occipito-temporale	G	-50	-64	16	3.50
Gyrus frontal supérieur	G	-8	4	62	3.39
Lobule pariétal inférieur	D	48	-58	38	2.93
Lobule pariétal inférieur	D	62	-62	24	2.70
Gyrus frontomarginal	D	28	50	-8	2.39

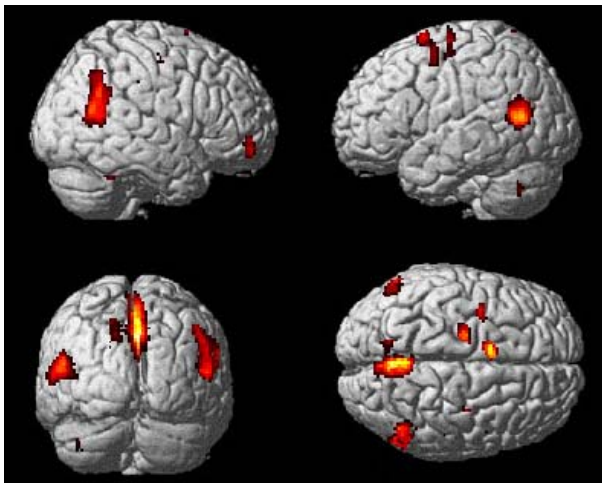


Figure 2 — Foyers d'activation associés à l'imagination d'autrui en action [(A3-AC) & (V3-VC)] superposés sur des vues sagittales, une vue axiale et une vue caudale de l'IRM anatomique de SPM99. L'échelle de couleur code du rouge (minimum) vers le jaune clair (maximum) l'intensité des activations (T).

L'imagination en 3^{ème} personne, indépendamment de la modalité de présentation, est associée à une augmentation bilatérale du débit sanguin cérébral régional (DSCr) dans le précuneus. Dans l'hémisphère gauche, des foyers d'activation ont été détectés dans le

gyrus précentral, dans le gyrus frontal supérieur (AMS antérieure) et dans la jonction occipito-temporale (MT/V5). Le lobule pariétal inférieur et le gyrus frontopolaire sont activés dans l'hémisphère droit (tableau 2, figure 2).

3.3. Réseau commun à l'imagination en 1^{ère} et en 3^{ème} personne

Une analyse en conjonction ($p < 0.0001$, $T > 1.29$) calculée avec les quatre contrastes [(A1-AC), (V1-VC), (A3-AC), (V3-VC)] a mis en évidence des augmentations bilatérales de débit dans le précuneus ($x = 6$, $y = -68$, $z = 46$; T , 2.90 et -8 , -64 , 40 ; 2.43) et dans le complexe MT/V5 (-58 , -60 , 12 ; 2.22 et 52 , -54 , 8 ; 1.70). Des activations dans le gyrus précentral (-22 , -12 , 54 ; 2.25) et dans l'AMS (-10 , 4 , 64 ; 2.14) ont été détectées dans l'hémisphère gauche.

3.4. Effet principal de l'imagination de l'autre par rapport à l'imagination de soi [(A3+V3)-(A1+V1)]

Tableau 3 — Régions détectées quand on compare l'imagination d'autrui à l'imagination de soi [(A3+V3)-(A1+V1)]. $p < 0.0001$, $T > 3.85$.

Région cérébrale	G/D	Coordonnées			
		x	y	z	T
Cortex cingulaire postérieur	G	-12	-50	38	5.55
Précuneus	D/G	0	-66	34	5.36
Fissure pariéto-occipitale	D	8	-68	24	5.30
Lobule pariétal inférieur	D	44	-64	24	4.94
Lobule pariétal inférieur	D	50	-58	30	4.68
Gyrus frontopolaire	D	14	72	10	4.37

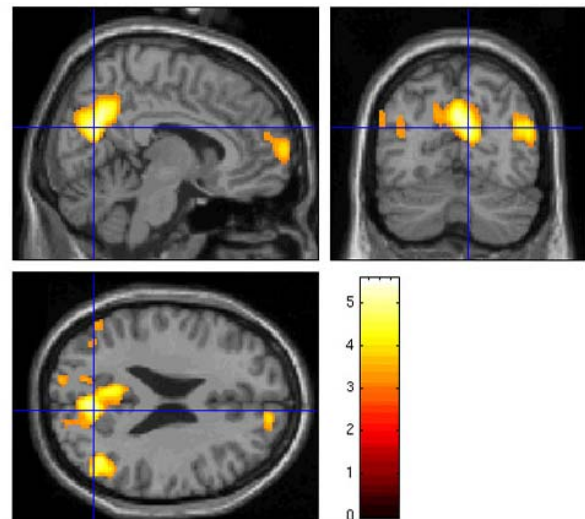


Figure 3 — Régions spécifiquement activées par l'imagination d'autrui par rapport à l'imagination de soi [(A3+V3)-(A1+V1)]. Les foyers d'activation sont représentés sur des coupes axiale, sagittale et coronale du cerveau aux coordonnées [$x = 8$, $y = -68$, $z = 24$].

En comparaison avec l'imagination en 1^{ère} personne, une perspective en 3^{ème} personne est spécifiquement

associée à des augmentations de débit dans le précuneus, le lobule pariétal inférieur et le gyrus frontopolaire, dans l'hémisphère droit. Une activation à gauche a été détectée dans le cortex cingulaire postérieur (tableau 3, figure 3).

3.5. Effet principal de l'imagination de soi par rapport à l'imagination de l'autre [(A1+V1) - (A3+V3)]

L'imagination de soi relativement à l'imagination d'autrui ($p < 0.0001$, $T > 3.85$) est associée à des augmentations de DSCr dans le lobule pariétal inférieur (-66, -32, 26 ; T, 6.47), l'insula postérieure (-42, -10, -8 ; 5.46) et le gyrus postcentral (-36, -40, 40 ; 4.58) dans l'hémisphère gauche. Un foyer d'activation bilatéral a également été détecté dans le gyrus occipital inférieur (56, -54, -24 ; 5.62 et -48, -50, -18 ; 4.11).

4. Discussion

Passer de sa propre perspective à celle de l'autre est une gymnastique de l'esprit que l'on pratique quotidiennement et spontanément dans nos interactions avec autrui. La théorie de la simulation postule que cette capacité à se projeter dans la peau de l'autre participerait au mécanisme cognitif permettant de comprendre les états mentaux des autres individus ; qu'il s'agisse d'expériences sensorielles, d'intentions motrices, de désirs ou de croyances. Cette étude avait pour but d'explorer l'effet d'une variation de perspective sur le réseau neuronal engagé au cours de l'imagination de l'action. Nous avons en effet formulé l'hypothèse que si d'une part, selon la théorie de la simulation, il devrait y avoir un recouvrement des réseaux neuronaux impliqués dans les perspectives en 1^{ère} et en 3^{ème} personne, il devrait également exister des corrélats neurophysiologiques spécifiques à chacune de ces situations, entre lesquelles il est écologiquement capital de faire la différence.

Toutes les régions cérébrales ayant subi une augmentation de débit sanguin au cours de l'imagination de l'action en 1^{ère} personne (par rapport au contrôle) correspondent à celles qui avaient précédemment été identifiées dans des études de neuroimagerie sur l'imagerie motrice (Decety *et al.*, 1994 ; Gerardin *et al.*, 2000 ; Lotze *et al.*, 1999 ; Stephan *et al.*, 1995). Le recrutement de ces régions, à savoir le lobule pariétal inférieur, l'aire motrice supplémentaire, le gyrus postcentral dans l'hémisphère gauche ainsi que le cervelet dans l'hémisphère droit (tableau 1, figure 1), a été interprété en faveur d'une équivalence fonctionnelle entre la simulation et l'exécution de l'action (Jeannerod, 1995). Directement comparée à la perspective en 3^{ème} personne, l'imagination de soi en action est associée à des activations exclusivement dans l'hémisphère gauche dans le lobule pariétal gauche et le cortex somatosensoriel. La spécificité de la perspective en 1^{ère} personne est donc dirigée vers une composante sensori-motrice. Ces résultats offrent des arguments pour attribuer au lobule pariétal gauche un rôle préminent dans le stockage et le rappel des plans moteurs « du soi », ce qui pourrait être lié au fait que les programmes sont dans ce cas potentiellement transformables en exécutions. En ce qui concerne le cortex somatosensoriel, son activation plus importante dans

l'imagination de soi par rapport à l'imagination d'autrui est un résultat particulièrement intéressant. Cette région n'est en effet pas couramment détectée dans les travaux sur l'imagerie motrice, et dans notre étude elle n'apparaît que lorsque l'imagination de soi est comparée à l'imagination d'autrui. Il est envisageable que la distinction entre soi et l'autre passe par une représentation somatosensorielle, c'est-à-dire par la re-création d'une expérience à laquelle seul le « moi » a accès, « je » ne pourra en effet jamais véritablement accéder à l'expérience sensorielle d'autrui. Ce processus serait donc un bon discriminant, et par le même un bon candidat pour expliquer le mécanisme intervenant dans la distinction soi/autrui. Cette idée est compatible avec le modèle théorique proposé par Damasio (1999) qui distingue une représentation corporelle de premier et de second ordre. Selon cet auteur les aires somatosensorielles et l'insula seraient impliquées dans la représentation de premier ordre et le cortex cingulaire et le cortex pariétal médial joueraient un rôle dans la représentation de second ordre. Chose intéressante, l'ensemble de ces régions sont retrouvées dans notre étude. Les aires associées à la représentation de première ordre sont détectées pour l'imagination de soi alors que les régions évoquées pour la représentation de second ordre sont impliquées dans l'imagination d'autrui. Ce modèle a récemment été testé par Critchley *et al.* (2001) en TEP et les résultats de cette étude ont permis de conforter l'idée d'une intervention du cortex somatosensoriel dans une représentation corporelle de premier ordre. Iacoboni *et al.* (1999) ont eux explicitement fait l'hypothèse d'un rôle du cortex somatosensoriel dans la distinction soi/autrui. Ils proposent que l'activation de cette région participe à la conservation de l'identité du corps dans une situation d'imitation où elle serait, selon la théorie de la simulation, mise en péril.

L'imagination de soi s'accompagne également d'une activation du complexe MT/V5. Ce résultat semble cohérent avec le fait que l'imagination d'une action est nécessairement associée à l'imagination du mouvement qui lui est inhérent. Cette hypothèse est par ailleurs en accord avec de nombreux travaux sur cette région ayant montré son implication dans divers types de tâches n'impliquant pas de perception explicite de mouvement mais uniquement un mouvement apparent (Goebel *et al.*, 1998 ; Stevens *et al.*, 2000), illusoire (Tootell *et al.*, 1995), imaginé (O'Craven *et al.*, 1997) ou même suggéré par des images statiques (Kourtzi et Kanwisher, 2000).

Les résultats obtenus pour la perspective en 1^{ère} personne appuient et confirment, comme escompté, la thèse de représentations neuronales communes pour l'imagination et l'exécution de l'action. Ils valident par ce biais le protocole utilisé et autorisent la comparaison entre les conditions d'imagination de soi et d'imagination d'autrui.

Selon la théorie de la simulation, il devrait y avoir un recouvrement entre les régions impliquées dans l'imagination de soi et l'imagination d'autrui. Nos résultats montrent que c'est en partie le cas. Imaginer quelqu'un en action est associé à des activations qui sont communes à celles détectées pour l'imagination de soi. Il s'agit de l'AMS, du gyrus précentral, du précuneus et de MT/V5 (tableau 2, figure 2, et l'analyse en

conjonction à quatre contrastes). Ces résultats valident donc les prédictions postulées par la théorie de la simulation. C'est-à-dire qu'imaginer quelqu'un en action recrute en partie le même réseau neuronal que celui qui est impliqué dans l'imagination de soi dans la même situation.

Néanmoins, ce recouvrement n'est pas complet. Quand on compare l'imagination en 3^{ème} personne à la simulation en 1^{ère} personne des augmentations de débit spécifiques ont été enregistrées dans le cortex pariétal et dans le cortex frontal (tableau 3, figure 3). Dans le cortex pariétal, l'activation du lobule pariétal inférieur gauche qui était très forte pour l'imagination de soi, disparaît quand on imagine autrui et une augmentation de débit apparaît dans cette même région mais dans l'hémisphère droit (figures 1, 2 et 4). Les autres activations spécifiques à l'imagination d'autrui ont été enregistrées dans le cortex cingulaire postérieur à gauche et dans le précuneus et le gyrus frontopolaire à droite.

Ces différences de *pattern* d'activation dues à la prise de perspective pendant l'imagination de l'action sont d'un intérêt majeur pour la compréhension des mécanismes neurophysiologiques sous-jacents à la distinction entre soi et autrui. Nous faisons l'hypothèse que les activations spécifiques dans le cortex pariétal inférieur droit et dans le précuneus au cours de l'imagination d'autrui pourraient rendre compte d'un mécanisme neuronal jouant un rôle dans la détermination de l'agentivité. Cette interprétation bénéficie du soutien de plusieurs résultats issus de la neuropsychologie clinique et de la neuroimagerie chez l'homme normal et chez les patients psychiatriques.

Il a été montré de manière reproductible que le cortex pariétal inférieur droit est activé quand des sujets observent les actions d'autrui dans le but de les imiter (Decety *et al.*, 2002 ; Decety *et al.*, 1997 ; Grèzes *et al.*, 1998). Par ailleurs, l'étude du cas d'un patient neurologique a permis de montrer qu'une lésion de cette partie du cerveau (cortex pariétal inféro-postérieur droit) suffit à provoquer des symptômes de délire d'influence. Le patient décrit par Mesulam (1981) s'exprimait en effet en disant « ma tête est vide », « je n'ai pas de pensées », « je me sens hypnotisé ». Ces impressions étaient associées à la sensation d'une mort imminente, d'une intense peur et de la conviction que son corps était contrôlé par des forces extérieures. Un autre résultat intéressant provient d'une étude de neuroimagerie qui met en évidence une hyperactivation du cortex pariétal inférieur droit chez des patients schizophrènes sous délire d'influence par rapport à un groupe de sujets normaux, au cours d'une tâche de sélection libre de mouvements sur un joystick (Spence *et al.*, 1997). Les auteurs ont fait l'hypothèse que cette réponse anormale du cortex pariétal pourrait fournir un substrat anatomique plausible à la mauvaise attribution des actions auto-générées à des entités extérieures. Par une autre approche Maruff *et al.* (2001) confortent les résultats obtenus par Spence *et al.* en montrant une réduction du volume cortical dans les aires pariétales associatives chez les patients schizophrènes souffrant de délire d'influence. Cet auteur considère en effet l'hyperactivation du cortex pariétal dans l'étude de Spence *et al.* comme la traduction d'un phénomène d'adaptation fonctionnelle visant à compenser le faible

volume de la région chez ces patients. Quoi qu'il en soit les auteurs s'accordent à penser qu'il existe un dysfonctionnement du cortex pariétal droit chez les patients schizophrènes présentant des troubles de l'agentivité.

L'ensemble de ces premiers résultats suggère donc que le cortex pariétal droit est nécessaire à l'intégrité du sens de son identité propre.

Par une autre approche, des études de neuroimagerie fonctionnelles ayant exploré les corrélats neuronaux de l'hypnose apportent des éléments intéressants à cette discussion. Des diminutions de débit sanguin cérébral ont en effet été montrées dans le lobule pariétal inférieur droit, le précuneus et le gyrus cingulaire postérieur gauche chez des sujets en état d'hypnose par rapport à un état de repos (Rainville *et al.*, 1999). La désactivation du précuneus en particulier est considérée par Maquet *et al.* (1999) comme une caractéristique métabolique importante de cet état inconscient par rapport à un état conscient.

Ces résultats sont en accord avec le rôle classiquement attribué au cortex pariétal droit dans une représentation du corps de haut niveau, ou autrement dit une « représentation du soi » (Bisiach et Berti, 1995 ; Wolpert *et al.*, 1998).

Selon un point de vue de neuropsychologie cognitive, avoir une perspective unifiée du monde implique de garder la trace des relations d'interdépendance entre ce qui est perçu et ce qui est fait, et de ce fait, conscience de sa propre agentivité. Dans ce sens Hurley (1997) propose que la prise de perspective implique la conscience de soi. En droite ligne de cette approche, on peut faire l'hypothèse qu'au niveau physiologique, pour pouvoir discriminer entre le soi et l'autre le cerveau a besoin de maintenir une représentation du soi particulièrement vivace. Quand un sujet prend la perspective d'autrui, il doit être conscient de « qui il est » pour être capable d'imaginer un autre que lui avec les mêmes ressources neuronales qui sont mises en jeu pour l'imagination de lui-même (théorie de la simulation). De manière à ne pas confondre la perspective en 1^{ère} et en 3^{ème} personne, les régions qui sont impliquées dans le schéma corporel et la conscience de soi pourraient donc être hautement recrutées. Bien que cette interprétation reste jusqu'ici spéculative, il est intéressant de noter que pendant l'imagination d'autrui, des augmentations spécifiques de DSCr sont apparues justement dans les régions où une diminution du débit avait été enregistrée pendant un état d'hypnose (lobule pariétal inférieur droit, cortex cingulaire postérieur et précuneus). Une étude récente de neuroimagerie s'intéressant au jugement d'identité à partir de stimuli représentant le soi versus le non/soi a apporté des arguments supplémentaires en faveur de notre hypothèse. Les jugements d'identité, soit à partir de photos du visage, soit à partir de nom de trait de caractère sont en effet associés à des activations dans le précuneus, uniquement lorsque les sujets jugent que le stimulus décrit leur propre personne (Kircher *et al.*, 2000). Dans notre étude, bien que le précuneus soit activé pour les deux perspectives, il l'est plus dans le cas d'une perspective en 3^{ème} personne (figure 4), ce qui est en accord avec notre hypothèse proposant une suractivation des régions impliquées dans la représentation de soi au cours de l'imagination d'autrui.

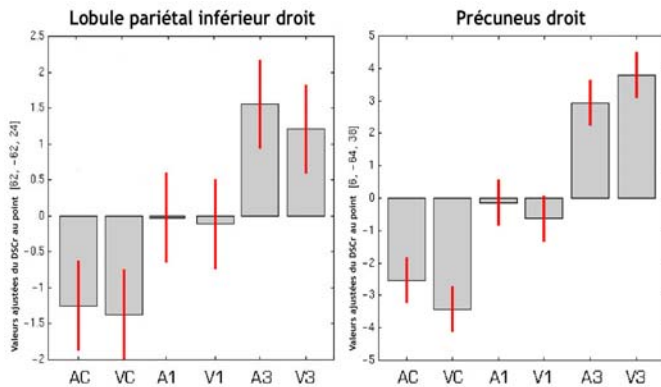


Figure 4 — Profils d'activation de voxels dans le lobule pariétal inférieur et le précuneus droit en fonction des conditions expérimentales.

Chaque barre des histogrammes représente la valeur ajustée relative du débit sanguin cérébral régional pour une région dans une condition.

AC = contrôle auditif, VC = contrôle visuel, A1 = imagination de soi avec des stimuli auditifs, V1 = imagination de soi avec des stimuli visuels, A3 = imagination d'autrui avec des stimuli auditifs, V3 = imagination d'autrui avec des stimuli visuels.

Notez la similarité des profils d'activation des deux régions dans toutes les conditions expérimentales. Elles sont toutes les deux fortement activées pour l'imagination d'autrui, moins pour l'imagination de soi et très peu pour l'imagination d'un paysage.

Finalement l'ensemble de ces résultats amène à proposer l'hypothèse que le cortex pariétal inférieur droit et le précuneus jouent un rôle dans l'attribution d'actions à soi ou à autrui, par l'intermédiaire de leur rôle dans la représentation du soi.

Pour prendre une perspective en 3^{ème} personne, un sujet doit d'abord prendre en compte l'intention de l'individu qu'il doit imaginer. Ce processus cognitif est comparable à celui intervenant au cours d'une tâche de « théorie de l'esprit ». L'activation du cortex cingulaire postérieur pourrait être associée avec ce type de traitement de l'information, dans la mesure où cette région a été plusieurs fois détectée dans des études de neuroimagerie utilisant des tâches de lecture d'états mentaux (Brunet *et al.*, 2000 ; Fletcher *et al.*, 1995). Une autre interprétation de cette activation est cependant envisageable. D'après le modèle de Damasio (1999) et l'étude TEP de Critchley *et al.* (2001) le cortex cingulaire postérieur est associé à l'élaboration d'une représentation corporelle de second ordre, liée à la prise en compte du contexte et de l'état émotionnel du sujet. Cette idée est en accord avec le rôle « évaluatif » qu'avaient déjà proposé Vogt *et al.* (1992) pour cette région par opposition à un rôle exécutif du cortex cingulaire antérieur. Selon Critchley *et al.* (2001) cette fonction évaluative du cortex cingulaire postérieur dans le traitement des événements sensoriels pourrait avoir un rôle important dans le domaine de l'émotion et de la conscience. Cette hypothèse offre un cadre plausible à l'interprétation de nos résultats. Le cortex cingulaire postérieur est en effet activé dans une situation où la prise en compte du contexte (perspective d'autrui) et la conscience de soi sont capitales pour la réalisation de la tâche.

L'activation spécifique du cortex frontopolaire dans la prise de perspective d'autrui est un résultat important de cette étude. Elle pourrait être considérée comme l'expression d'un phénomène inhibiteur au cours de l'imagination de l'action d'un autre individu. Une analyse ANCOVA utilisant l'activité dans le gyrus frontopolaire comme co-variable d'intérêt et le facteur sujet comme variable de non-intérêt a donné des résultats qui nous autorisent à formuler cette hypothèse. L'activité dans le lobule pariétal inférieur gauche ($x = -56, y = -30, z = 26$) s'est en effet révélée être négativement corrélée avec l'activité du gyrus frontopolaire ($T = 4.06$). Cette région pourrait donc jouer un rôle inhibiteur sur le rappel de nos propres plans d'action au cours de l'imagination d'autrui.

Par ailleurs, cette hypothèse est compatible avec des déficits neuro-anatomiques mis en évidence chez des patients schizophrènes. Un manque de neurones inhibiteurs (neurones à GABA) a été diagnostiqué dans le cortex cingulaire antérieur et le gyrus frontopolaire de ces patients dont la symptomatologie est caractérisée par une susceptibilité à confondre les actions réalisées par eux-mêmes et par autrui (Kalus *et al.*, 2000 ; Selemon et Goldman-Rakic, 1999). De plus, dans le domaine de la neuropsychologie, il a été montré que des lésions de cette partie du cortex frontal pouvaient provoquer un syndrome d'utilisation interprété comme un phénomène de levée d'inhibition (De Renzi *et al.*, 1996 ; Lhermitte *et al.*, 1986). Une étude récente a d'ailleurs conforté cette hypothèse en montrant une implication spécifique chez l'homme normal du cortex frontopolaire dans une tâche d'inhibition de réponse imitative (Brass *et al.*, 2001).

En conclusion cette étude a permis de montrer qu'il est possible d'identifier à un niveau représentationnel des régions cérébrales spécifiques impliquées dans une prise de perspective propre et la prise de perspective d'autrui. Plusieurs aires corticales (cortex pariétal inférieur droit, précuneus, cortex somatosensoriel) sont envisagées pour jouer un rôle dans la génération de notre capacité à distinguer les actions que nous avons produites de celles qui ont été produites par autrui. Ces résultats encouragent à poursuivre dans cette voie pour pouvoir mieux comprendre les désordres dans le domaine de l'agentivité, chez les patients psychiatriques comme chez les patients neurologiques.

Références bibliographiques

- [Bisiach et Berti, 1995] Bisiach E., Berti A. (1995). Consciousness in dyschiria. In Gazzaniga MS (ed.) *The cognitive neurosciences*. MIT press : Cambridge, MA. 1331-1340.
- [Brass et al., 2001] Brass M., Zysset S., Von Cramon D. (2001) The inhibition of imitative response tendencies: a functional MRI study. Actes *Eighth Annual meeting of the Cognitive Neuroscience Society*, New York, USA. 46.
- [Brunet et al., 2000] Brunet E., Sarfati Y., Hardy-Bayle M.C., Decety J. (2000). A PET Investigation of the Attribution of Intentions with a Nonverbal Task. *Neuroimage*. 11, 157-166.
- [Critchley et al., 2001] Critchley H.D., Mathias C.J., Dolan R.J. (2001). Neuroanatomical basis for first- and second-order representations of bodily states. *Nature Neuroscience*. 4, 207-212.

- [Damasio, 1999] Damasio A.R. (1999). The feeling of what happens: body and emotion in the making of consciousness. Harcourt Brace : New york.
- [Daprati et al., 1997] Daprati E., Franck N., Georgieff N., Proust J., Pacherie E., Dalery J., Jeannerod M. (1997). Looking for the agent: an investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition*. 65, 71-86.
- [De Renzi et al., 1996] De Renzi E., Cavalleri F., Facchini S. (1996). Imitation and utilisation behaviour. *Journal of Neuroscience Neurosurgery and Psychiatry*. 61, 396-400.
- [Decety, 2001] Decety J. (2001). Is there such a thing as a functional equivalence between imagined, observed and executed actions. In Meltzoff AN and Prinz W (ed.) *The imitative mind: development, evolution, and brain bases*. Cambridge University Press : Cambridge, UK. in press.
- [Decety et al., 2002] Decety J, Chaminade T, Grezes J, Meltzoff AN. (2002). A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *Neuroimage*. 15, 265-272.
- [Decety et al., 1997] Decety J., Grezes J., Costes N., Perani D., Jeannerod M., Procyk E., Grassi F., Fazio F. (1997). Brain activity during observation of actions. Influence of action content and subject's strategy. *Brain*. 120, 1763-1777.
- [Decety et al., 1994] Decety J., Perani D., Jeannerod M., Bettinardi V., Tadary B., Woods R., Mazziotta J.C., Fazio F. (1994). Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*. 371, 600-602.
- [Duvernoy, 1991] Duvernoy H.M. (1991). The human brain. Surface, three-dimensional sectional anatomy and MRI. Springer Verlag : New York.
- [Fletcher et al., 1995] Fletcher P.C., Happe F., Frith U., Baker S.C., Dolan R.J., Frackowiak R.S., Frith C.D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of "theory of mind" in story comprehension. *Cognition*. 57, 109-128.
- [Friston et al., 1995] Friston K.J., Holmes A.P., Worsley K.J., Poline J.B., Frith C.D., Frackowiak R.J.S. (1995). Statistical Parametric Maps in Functional Imaging: A general Linear Approach. *Human Brain Mapping*. 3, 189-210.
- [Gallagher, 2000] Gallagher S. (2000). Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*. 4, 14-21.
- [Gallese et Goldman, 1998] Gallese V., Goldman A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences*. 2, 493-501.
- [Georgieff et Jeannerod, 1998] Georgieff N., Jeannerod M. (1998). Beyond Consciousness of External Reality: A "Who" System for Consciousness of Action and Self-Consciousness. *Conscious Cognition*. 7, 465-477.
- [Gerardin et al., 2000] Gerardin E., Sirigu A., Lehericy S., Poline J.B., Gaymard B., Marsault C., Agid Y., Le Bihan D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements [In Process Citation]. *Cerebral Cortex*. 10, 1093-104.
- [Goebel et al., 1998] Goebel R., Khorrām-Sefat D., Muckli L., Hacker H., Singer W. (1998). The constructive nature of vision: direct evidence from functional magnetic resonance imaging studies of apparent motion and motion imagery. *European Journal of Neuroscience*. 10, 1563-1573.
- [Goldman, 1992] Goldman A.I. (1992). In defense of simulation theory. *Mind and language*. 7, 104-119.
- [Goldman, 2000] Goldman A.I. (2000). The mentalizing folk. In Sperber D (ed.) *Metarepresentations a multidisciplinary perspective*. Oxford university press : New york. 171-196.
- [Gopnik et Meltzoff, 1998] Gopnik A., Meltzoff A.N. (1998). Words, thoughts, and theories. MIT Press : Cambridge, MA.
- [Grèzes et al., 1998] Grèzes J., Costes N., Decety J. (1998). Top-down effect of strategy on the perception of human biological motion: A PET investigation. *Cognitive Neuropsychology*. 15, 553-582.
- [Grèzes et Decety, 2001] Grèzes J., Decety J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*. 12, 1-19.
- [Grivois et Proust, 1998] Grivois H., Proust J. (1998). Subjectivité et conscience d'agir. Approche cognitive et clinique de la psychose. Presses Universitaires de France : Paris.
- [Hurley, 1997] Hurley S.L. (1997). Non-conceptual self-consciousness and agency: perspective and access. *Communication and cognition*. Vol.30 (part 1 of special issue: Approaching consciousness), 207-248.
- [Iacoboni et al., 1999] Iacoboni M., Woods R.P., Brass M., Bekkering H., Mazziotta J.C., Rizzolatti G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*. 286, 2526-2528.
- [Jeannerod, 1995] Jeannerod M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*. 33, 1419-1432.
- [Kalus et al., 2000] Kalus P., Muller T.J., Zuschratter W., Senitz D. (2000). The dendritic architecture of prefrontal pyramidal neurons in schizophrenic patients. *Neuroreport*. 11, 3621-5.
- [Kircher et al., 2000] Kircher T.T., Senior C., Phillips M.L., Benson P.J., Bullmore E.T., Brammer M., Simmons A., Williams S.C., Bartels M., David A.S. (2000). Towards a functional neuroanatomy of self processing: effects of faces and words [In Process Citation]. *Brain Research Cognitive Brain Research*. 10, 133-44.
- [Kourtzi et Kanwisher, 2000] Kourtzi Z., Kanwisher N. (2000). Activation in human MT/MST by static images with implied motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 12, 48-55.
- [Lhermitte et al., 1986] Lhermitte F., Pillon B., Serdaru M. (1986). Human autonomy and the frontal lobes. Part I: Imitation and utilization behavior: a neuropsychological study of 75 patients. *Annals of Neurology*. 19, 326-34.
- [Lotze et al., 1999] Lotze M., Montoya P., Erb M., Hulsmann E., Flor H., Klose U., Birbaumer N., Grodd W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 11, 491-501.
- [Maquet et al., 1999] Maquet P., Faymonville M.E., Degueldre C., Delfiore G., Franck G., Luxen A., Lamy M. (1999). Functional neuroanatomy of hypnotic state. *Biological Psychiatry*. 45, 327-33.
- [Maruff et al., 2001] Maruff P., Wood S., Velakoulis D., Smith D., Soulsby B., Suckling J., Bullmore E., Pantelis C. (2001). Evidence for dysfunction of parietal association areas in patients with schizophrenia characterised by passivity delusions. *Actes Eighth Annual meeting of the Cognitive Neuroscience Society*, New York, USA.153.
- [Mesulam, 1981] Mesulam M.M. (1981). Dissociative states with abnormal temporal lobe EEG. Multiple personality and the illusion of possession. *Archives of Neurology*. 38, 176-181.
- [O'Craven et al., 1997] O'Craven K.M., Rosen B.R., Kwong K.K., Treisman A., Savoy R.L. (1997). Voluntary attention modulates fMRI activity in human MT-MST. *Neuron*. 18, 591-598.
- [Ochipa et al., 1997] Ochipa C., Rapcsak S.Z., Maher L.M., Rothi L.J., Bowers D., Heilman K.M. (1997). Selective deficit of praxis imagery in ideomotor apraxia. *Neurology*. 49, 474-480.

[Rainville *et al.*, 1999] Rainville P., Hofbauer R.K., Paus T., Duncan G.H., Bushnell M.C., Price D.D. (1999). Cerebral mechanisms of hypnotic induction and suggestion. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 11, 110-25.

[Selemon et Goldman-Rakic, 1999] Selemon L.D., Goldman-Rakic P.S. (1999). The reduced neuropil hypothesis: a circuit based model of schizophrenia [see comments]. *Biological Psychiatry*. 45, 17-25.

[Sirigu *et al.*, 1996] Sirigu A., Duhamel J.R., Cohen L., Pillon B., Dubois B., Agid Y. (1996). The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*. 273, 1564-1568.

[Spence *et al.*, 1997] Spence S.A., Brooks D.J., Hirsch S.R., Liddle P.F., Meehan J., Grasby P.M. (1997). A PET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusion of alien control). *Brain*. 120, 1997-2011.

[Stephan *et al.*, 1995] Stephan K.M., Fink G.R., Passingham R.E., Silbersweig D., Ceballos-Baumann A.O., Frith C.D., Frackowiak R.S. (1995). Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology*. 73, 373-386.

[Stevens *et al.*, 2000] Stevens J.A., Fonlupt P., Shiffrar M., Decety J. (2000). New aspects of motion perception: selective neural encoding of apparent human movements [In Process Citation]. *Neuroreport*. 11, 109-115.

[Tootell *et al.*, 1995] Tootell R.B., Reppas J.B., Dale A.M., Look R.B., Sereno M.I., Malach R., Brady T.J., Rosen B.R. (1995). Visual motion aftereffect in human cortical area MT revealed by functional magnetic resonance imaging [see comments]. *Nature*. 375, 139-141.

[Vogt *et al.*, 1992] Vogt B.A., Finch D.M., Olson C.R. (1992). Functional heterogeneity in cingulate cortex: the anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral Cortex*. 2, 435-443.

[Wolpert *et al.*, 1998] Wolpert D.M., Goodbody S.J., Husain M. (1998). Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe. *Nature Neuroscience*. 1, 529-533.

Les auteurs



Vétérinaire de formation, Perrine RUBY est actuellement en 3^{ème} année de Thèse de Neurosciences. Pendant son DEA, elle s'est intéressée à l'influence de la durée d'une action sur le réseau neuronal mis en jeu au cours de sa planification. Ses recherches se sont ensuite orientées vers l'investigation des corrélats

neurophysiologiques de la prise de perspective (motrice, conceptuelle et émotionnelle) chez le sujet sain en tomographie par émission de positons. À l'issue de sa thèse, elle a pour projet de partir en post-doctorat dans l'équipe du Dr Pierre Maquet à Liège (Belgique) pour explorer, à l'aide de techniques de neuroimagerie fonctionnelle, le rôle du sommeil et du rêve dans l'apprentissage mais aussi dans l'objectif de travailler sur la mise en évidence des corrélats neurophysiologiques de l'expérience du rêve.



Jean Decety est docteur en neurobiologie, directeur de recherche à l'institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) et professeur au *Center for Mind and Learning* à l'université de Washington. Il est spécialiste de neurophysiologie, d'imagerie cérébrale et de

neuropsychologie. Il a travaillé sur la perception et la compréhension des actions humaines, sur les questions de l'intentionnalité chez les personnes schizophréniques, sur l'autisme, et étudie actuellement les mécanismes cognitifs et neuraux impliqués par les phénomènes d'imitation et par l'intersubjectivité. Il est également responsable aux éditions Odile Jacob des domaines des neurosciences, de l'anthropologie et des théories de l'évolution.

