

## **Physiologie de la perception et de l'action**

M. Alain BERTHOZ, membre de l'Institut  
(Académie des sciences), professeur

COURS

### **Fondements cognitifs de l'identité : entre mémoire du passé et anticipation**

Ce cours est disponible en audio sur le site Internet du Collège de France.

#### **Introduction**

Le cours de cette année a été consacré à la notion d'identité. Nous avons tout d'abord donné un aperçu des multiples acceptions de cette notion depuis Aristote en recommandant des lectures et, entre autres, le livre de Stéphane Ferret sur ce sujet. Nous avons toutefois accordé un intérêt particulier aux réflexions de Paul Ricoeur dans son ouvrage « Soi-même comme un autre ». Pour lui, l'identité peut se décliner de deux façons : a) l'identité comme *mêmeté* : « L'idem » implique la « permanence dans le temps » (*Sameness* [angl], *Gleichheit* [all.]) ; et b) l'identité comme « ipséité ». « Soi-même comme un autre suggère...que l'ipséité du soi-même implique l'altérité à un degré si intime que l'une ne se laisse pas penser sans l'autre ... » (p.14) (« l'ipse » [latin], *self* [angl.], *selbst* [all.], *se* [it], *simismo* [esp]). Il distingue aussi l'« identité narrative » : « C'est dans l'histoire racontée, avec ses caractères d'unité, d'articulation interne et de complétude, conférés par l'opération de mise en intrigue, que le personnage conserve tout au long de l'histoire, une identité corrélatrice de l'histoire elle-même » (p. 170). Cette analyse nous intéresse car elle met au centre de la notion d'identité la relation avec autrui, l'intersubjectivité et son caractère multiple. Nous avons dans le cours développé ces deux aspects.

Après cette brève introduction nous avons formulé des hypothèses qui ont guidé notre analyse : 1) l'identité n'est pas être identique, c'est être unique ; 2) on ne doit pas confondre appartenance et identité ; 3) il y a des niveaux multiples

d'identité ; 4) l'identité est un processus dynamique tendu entre la mémoire du passé, la prédiction du futur et la création d'un présent ; 5) l'identité est fondée sur une intersubjectivité ; 6) l'identité n'est pas basée sur ce que le langage déclare que je suis, mais sur l'action que j'ai faite (mémoire rétrospective, mémoire épisodique) ou que je peux faire. C'est le concept de puissance d'agir (Dun Scot). La question de l'agentivité est donc centrale.

### **Le corps propre**

Nous avons, dans le cours suivant, défini, grâce aux découvertes des neurosciences cognitives modernes, les notions de « corps propre », d'image du corps, de schéma corporel. Le « corps naturel » est déjà organisé dans les gènes. Les gènes de développement des parties du corps, et en particulier la famille des 4 gènes HOX, sont disposés sur le chromosome de façon ordonnée « co-linéaire » avec l'organisation spatiale qu'auront les parties du corps. C'est un « homonculus génétique ». Ce corps naturel a peut-être, comme le suggèrent des observations faites sous anesthésie, une posture archaïque, ou canonique.

Le schéma corporel est modifiable. De nombreuses expériences (voir par exemple les travaux de M. Merzenich) ont montré des modifications par l'entraînement (cortex moteur, prémoteur, hippocampe etc.), ou la manipulation d'outils. Il est aussi modifiable sous l'influence de facteurs liés à la *préférence* : l'influence de la dopamine a été démontrée lors d'expériences faites chez l'animal par stimulation de l'aire tegmentale ventrale en même temps que l'application d'un stimulus sensoriel. Un autre exemple est donné par le paradigme dit de « la main de caoutchouc » : on dispose une des mains du sujet derrière un écran de façon à ce qu'il ne la voie plus. On dispose aussi une main de caoutchouc devant le sujet. Si on touche simultanément la main du sujet et celle de caoutchouc il a l'impression que la main de caoutchouc est devenue sa propre main. Le cortex prémoteur ventral, le cervelet et le cortex intrapariétal sont activés lors de l'illusion de la main de caoutchouc. L'intensité de l'activation change avec l'intensité de l'illusion. Elle ne dépend pas de la vision. L'activité dans l'insula postérieure est corrélée à la déviation de la main perçue. Nous avons décrit un nouveau paradigme développé dans notre laboratoire pour l'étude de l'illusion de déplacement du schéma corporel : « le piston virtuel ». Le sujet appuie sur un piston. Une caméra projetée dans un casque de réalité virtuelle l'image de sa main décalée. Ce travail est en cours (thèse de I. Olive).

L'activité est donc nécessaire pour la modification du schéma corporel. Mais, en fait, la contribution du corps propre à l'identité ne devrait pas être examinée du seul point de vue du sujet solipsiste. P. Ricoeur écrit aussi « Ma chair n'apparaît comme un corps parmi les corps que dans la mesure où je suis moi même un autre parmi les autres ».

Nous avons ensuite précisé la notion de « soi » en comparant les théories de S. Gallagher, A. Damasio, P. Piolino et nous avons particulièrement insisté sur le

rôle de la mémoire autobiographique et de ses deux composantes principales, épisodique et sémantique, dans la construction du soi. Enfin, d'emblée, nous avons introduit un des thèmes essentiels du cours, le rôle prospectif du cerveau qui, à partir des événements passés, projette sur l'avenir des prédictions. D. Shacter, par des expériences d'imagerie cérébrale, montre que la simulation mentale d'événements futurs active à peu près les mêmes réseaux que l'évocation des événements passés.

### **La pathologie de l'identité**

Le deuxième cours a été consacré à la pathologie de l'identité. Nous avons examiné plusieurs aspects de cette question après un très bref rappel des théories de S. Freud, A. Damasio et W. Penfield. En ce qui concerne la pathologie du corps propre et de la conscience de soi, nous avons tout d'abord rappelé le fait que peut exister une conscience de soi sans cortex cérébral, ce qui est attesté par des pathologies, décrites par B. Merker, d'enfants sans cortex. Ceci correspond sans doute à ce que A. Damasio définit comme « proto-soi » et implique essentiellement des structures sous corticales. Des données récentes donnent un fondement scientifique nouveau à des phénomènes décrits depuis longtemps par les neurologues, mais restés sans explication. Par exemple, O. Blanke a récemment documenté les bases neurales de l'autoscopie, l'héautoscopie et, de façon générale, les phénomènes de sortie du corps qui sont une des pathologies de l'identité. L'IRM fonctionnelle a révélé le rôle important d'aires pariéto-temporales dans ces phénomènes, comme l'avait prédit Penfield. Nous avons décrit des expériences réalisées par notre équipe en coopération avec P. Kahane et J.-P. Lachaux sur des patients épileptiques à Grenoble, qui ont permis d'identifier des aires du cortex pariéto-temporal impliquées dans la construction de l'unité du corps propre et de ses relations avec l'espace.

Un autre aspect important de l'identité est l'agentivité, c'est-à-dire la conscience d'être l'agent de ses propres actions. De nombreuses théories des bases neurales de l'agentivité et de sa pathologie ont été proposées. Nous avons présenté celle de S. Gallagher qui distingue :

a) le « soi minimum » (*the minimal self*) qui n'a pas d'extension dans le temps. Il distingue agentivité (*self-agency*) et propriété (*self-ownership for actions*) ;

b) le soi narratif (*the narrative self*) qui implique l'identité personnelle et la continuité dans le temps. Il propose deux modèles du « soi narratif », l'un suppose que le soi est centralisé et unique, l'autre qu'il est distribué et multiple. Gallagher reprend à son compte des idées de C. Frith en insistant sur le rôle du *feed-forward* comme un des éléments importants de ce qu'il appelle le « *minimal self* ».

Pour interpréter des pathologies de l'agentivité, L. Schwabe et O. Blanke (*Cognitive neuroscience of ownership and agency. Consciousness and Cognition*, 2007) proposent de distinguer, « *ownership* » (propriété), intégration multisensorielle et « agentivité », prédiction des conséquences sensorielles des actions motrices. Leur

modèle prédirait ainsi deux pathologies différentes. On trouve aussi, dans la littérature, des données attribuant au cortex pariétal et à la jonction pariéto-temporale un rôle important dans l'agentivité. En réalité la notion de « soi » suppose l'intégration de processus divers et nous avons accordé une attention particulière à la mémoire autobiographique. Comme le précisent Eustache et Piolino, on peut distinguer deux composantes importantes : la mémoire épisodique et la mémoire sémantique. Ils proposent qu'un réseau d'aires est impliqué dans ces deux composantes pour, respectivement, l'imagerie mentale (precuneus-cuneus occipital), la reviviscence (hippocampe), la référence à soi (cortex préfrontal latéral, dorso-médial, orbito-frontal), la sémantique personnelle (temporal latéral) et l'amygdale pour la composante émotionnelle. Nous avons ensuite passé en revue plusieurs pathologies de la mémoire autobiographique et de la construction du soi chez des patients psychiatriques. Une des idées directrices du cours était de démontrer que l'identité est un processus dynamique inscrit dans le flux du passé, du présent et de l'anticipation du futur. Ayant montré l'importance de la mémoire autobiographique, nous avons ensuite décrit des données récentes sur l'anticipation des actions futures. Il s'agit essentiellement de travaux de D. L. Shacter, qui a montré que la mémoire autobiographique et l'imagination d'actions futures (ce qu'il appelle le « cerveau prospectif ») activent, pour partie, un réseau d'aires commun. Ceci nous a permis d'introduire la notion de « voyage mental », qui lie passé et futur, et d'introduire la suggestion de Squire qu'il y aurait, pour l'anticipation du futur, des modules cérébraux similaires à ceux qui contribuent à la mémoire épisodique. Nous avons terminé ce cours par un examen des bases neurales de la pathologie de la reconnaissance de l'identité d'autrui (autisme, personnalité « *borderline* », etc.)

### **L'ontogenèse de l'identité chez l'enfant et son évolution au cours de la vie**

Dans le troisième cours, nous avons cherché à élaborer plusieurs thèses. 1) L'identité corporelle change au cours de la vie. 2) Les changements du soi sont liés aux changements de point de vue. 3) La mémoire autobiographique se modifie : on filtre les mémoires du passé pour inhiber ce qui n'est pas pertinent ou ce qui est douloureux ; on construit avec la mémoire narrative des scénarios du passé. 4) L'anticipation du futur augmente avec l'apparition des fonctions exécutives et des changements de perspective chez l'enfant, puis diminue au fur et à mesure que ces fonctions se dégradent chez la personne âgée. On tend à projeter sur le futur des mémoires anciennes qui ne sont pas nécessairement pertinentes.

Le « corps naturel » est déjà organisé dans les gènes. Les gènes de développement des parties du corps sont disposés sur le chromosome de façon ordonnée « co-linéaire » avec l'organisation spatiale qu'auront les parties du corps. C'est un « homonculus génétique ». Malgré la grande pertinence des théories piagetiennes, on assiste actuellement à une critique radicale des modèles néo-piagetiens de psychologie du développement : ce sont des modèles de coordination-*activation* d'unités structurales et non des modèles de sélection-*inhibition*. Seul le modèle de

Pascual-Leone (1988) fait exception. Une analyse alternative de l'*attention-inhibition* s'est récemment imposée (cf. O. Houdé, « L'enfance de l'identité », dans *L'Identité : qui suis-je ?*, Le Pommier, 2006).

Très schématiquement, chez le bébé (de 0 à 2 ans), la genèse de l'identité passe d'abord par l'imitation, comportement essentiel au développement de l'intersubjectivité soi/autre. Ces processus utilisent sans doute les aires connues sous le nom de « système miroir » qui sont des aires pour partie communes à l'imitation et l'observation des actions d'autrui. Puis, à 12 mois, l'enfant partage l'attention et peut « désigner » (selon la terminologie de J. D. Degos qui a décrit l'« hétéro-topo-agnosie »). À 12 mois les enfants pointent de façon déclarative et comprennent que les adultes ont des états psychologiques qu'ils peuvent partager. Ensuite, un peu avant 2 ans, advient une étape fondamentale : la conscience de soi, attestée par la reconnaissance dans le miroir. En fait on peut distinguer cinq niveaux de conscience de soi qui se construisent au cours des cinq premières années (cf. P. Rochat, « 5 levels of self-awareness as they unfold early in life », *Consciousness and Cognition*, 2003). J'ai formulé une triple hypothèse à ce sujet : a) l'image dans le miroir regarde l'enfant qui la regarde (comme la main touchante et touchée) ; b) la conscience de cet aller et retour est le premier mécanisme du « changement de point de vue » lié à la direction du regard (cf. mon chapitre sur le regard dans Berthoz *et al.*, *L'Autisme*, O. Jacob) ; c) la constitution de l'identité est liée aux bases neurales de la manipulation mentale de l'espace (cf. A. Berthoz, « Esquisse d'une théorie de l'empathie », dans A. Berthoz et G. Jorland, *L'empathie*, O. Jacob, et aussi C. Lévi-Strauss, *L'identité*, PUF, 1977). Entre 2 et 6 ans l'enfant doit élaborer une « théorie de l'esprit » à partir de ses propres pensées, croyances, désirs et de ceux des autres. On assiste à une progression de l'engagement réciproque au cours de l'ontogenèse. De l'imitation, au partage des intentions, de l'attention, de l'affect.

Une question importante concerne le stade au cours duquel l'affect est intégré. Est-il, par exemple, associé à l'apparition de l'attention conjointe ? Deux théories différentes ont été proposées. Pour la première, l'affect n'est inclus que après 12 mois ; pour la seconde il est intégré dès 2 mois avec l'établissement de l'identité du soi comme objet pour autrui. V. Reddy a donné une théorie du développement conjoint de la conscience de soi et de différents aspects de l'affect. Nous avons comparé ces théories avec celles qui concernent, plus généralement, le développement des capacités cognitives de l'enfant. À savoir : a) maturation d'une région, par exemple le cortex frontal dorsolatéral (capacité de retrouver un objet) ; b) changement dans l'interaction de plusieurs régions (par exemple, l'interaction entre le cortex dorsolatéral frontal, le cortex pariétal et le cervelet donnerait une capacité à identifier et retrouver un objet) ; c) acquisition de nouvelles habiletés par l'apprentissage (par exemple, l'addition du cortex pariétal inférieur à un réseau donnera une capacité nouvelle pour des tâches visuo-motrices). Ces trois théories ne sont pas exclusives.

### L'extension du soi dans le temps

Un soi (*self*) « étendu » dans le temps implique une mémoire autobiographique et une conscience de la continuité du soi. L'enfant doit lier les événements en utilisant les outils cognitifs à sa disposition, à tous les stades du développement. L'enfant de 3 ans+ peut construire un « soi futur » dans lequel il est impliqué.

Nous avons examiné plusieurs théories sur ce sujet et en particulier celle de M. Wench-Ross. Le modèle de P. D. Zolazo et J. A. Sommerville met l'accent sur le fait que l'enfant doit élaborer une capacité de relier les événements personnels avec ceux du monde extérieur. Il distingue 5 étapes : a) 0-1 an ; b) 1-1,5 an ; c) 1,5-3 ans ; d) 3-4 ans ; e) plus de 4 ans. Ce n'est qu'à 4 ans que l'enfant peut avoir acquis non seulement un soi inscrit entre passé et futur, mais avoir aussi la capacité de se décentrer, en tenant compte de son histoire personnelle et de celle du monde extérieur. À partir de 4 ans, les enfants ont une compréhension causale de la stabilité du soi. Le développement de la mémoire épisodique se produit plus tard que la mémoire sémantique, entre 7 et 13 ans. À 4 ans les enfants peuvent étendre leur « soi » vers leur futur mais aussi celui d'une AUTRE personne. Le développement de l'identité narrative suit ces processus : les enfants peuvent se rappeler des histoires (« narratives »), même à partir de 3 ans. Ces histoires peuvent être de plus en plus complexes avec le temps.

Il est intéressant de lier l'ontogenèse de l'identité avec les modifications de l'identité et de la mémoire autobiographique au cours de la vie, en particulier chez les personnes âgées. Chez celles-ci, la mémoire épisodique est en générale moins bonne. Les adultes âgés se souviennent de moins d'éléments internes (liés directement aux épisodes) et introduisent plus d'éléments externes (contextuels) et de détails parfois sans rapport avec l'événement. Par exemple, le cortex médial préfrontal et le cingulum médian sont tous deux impliqués dans la référence à soi. La principale différence entre jeunes et âgés est dans la « valence » affective (émotionnelle). Les personnes âgées ont une activité augmentée dans le cortex préfrontal médial dorsal (BA 32) pour des items positifs par rapport aux items négatifs. Les souvenirs encodés entre 18 et 30 ans fondent l'identité personnelle (pic de réminiscence).

### Rôle de la relation avec autrui dans la construction de l'identité

L'intersubjectivité est, comme on l'a vu, fondatrice de l'identité. P. Ricœur écrivait : « Soi-même comme un autre suggère que l'ipséité du soi-même implique l'altérité à un degré si intime que l'une ne se laisse pas penser sans l'autre » (*op. cit.*, p. 14). Après un rappel du rôle de l'interaction avec autrui dans l'ontogenèse de l'identité, nous avons donné quelques exemples d'études récentes. L'amour maternel est très important pour la fondation de l'identité, comme le révèlent les déficits chez des enfants qui en sont privés. Quand une mère regarde son enfant, le cortex cingulaire antérieur, le striatum, le cortex orbito-frontal, l'insula sont activés. L'amour romantique est aussi un très puissant mécanisme d'échange qui bouleverse les rapports d'identité. Des activations ont été trouvées dans un réseau spécifique qui

comprend le gyrus cingulaire postérieur, l'amygdale, le cortex préfrontal, pariétal et temporal médian. L'inhibition de l'amygdale pendant un sentiment d'amour romantique et intéressant car elle témoigne, peut être, de ce que l'on peut appeler « l'aveuglement amoureux » qui bouleverse la perception d'autrui.

La compréhension des bases neurales de la douleur apporte aussi, au-delà des expériences sur la perception de la douleur d'autrui, des données sur une intéressante dissociation entre une composante sensori-discriminatoire (cortex somatosensoriel primaire [SI], somatosensoriel secondaire [SII], insula postérieure & cingulaire antérieur) et une composante affective (cingulaire antérieur, insula antérieure, thalamus, tronc cérébral). Des données récentes apportent aussi un éclairage nouveau sur l'expression « soi-même comme un autre ». En effet, en enregistrant l'activité cérébrale par EEG chez deux personnes qui regardent un film ensemble, on a pu montrer que les deux cerveaux sont très synchronisés dans des régions spécifiques au traitement du contenu de la scène. Par exemple le gyrus fusiforme est activé de façon synchronisée chez les deux personnes, si un visage apparaît à l'écran, ou des régions prémotrices si un geste est accompli. Il se produit un véritable couplage temporel lors de l'observation conjointe et les deux personnes sont « elles mêmes comme l'autre ». Nous avons aussi noté des effets remarquables dans l'interaction avec autrui. Par exemple, en changeant de perspective et en se plaçant « à la troisième personne », on induit l'inhibition (par le cortex fronto-polaires, aire 10 de Brodman) des informations somato-sensorielles liées à la perspective à la première personne. On a aussi suggéré que l'activation de la jonction pariéto-occipitale (aire 19) est spécifique à la perspective à la « troisième personne ». Cette aire est peut-être importante pour la différenciation entre soi et autrui.

Nous avons terminé ce cours par une revue de travaux récents sur l'empathie. Nous avons décrit nos expériences (Thirioux *et al.*, 2009) sur la différence entre sympathie et empathie. L'idée centrale de notre théorie est que la sympathie n'exige pas de changement de perspective. C'est un mécanisme de contagion émotionnelle. L'empathie exige un processus complexe qui permet à la fois de se mettre à la place d'autrui en changeant de perspective, et de rester de son point de vue. Elle permet aussi à la fois d'éprouver les émotions d'autrui et de les inhiber.

### **L'identité multiple**

« Jusqu'à présent l'identité...était une notion à la fois subjective, collective, et synchronique... Nous arrivons à une nouvelle perspective qui est objective, individuelle et diachronique... Je me demandais si, dans cette biologie considérée comme un des mythes de notre société contemporaine, quelque chose de l'identité subsiste encore. Quand on croit atteindre l'identité, on la trouve pulvérisée, en miette. » (C. Lévi-Strauss, *Séminaire sur l'identité*, PUF, Quadriges, 1977 p. 209).

Dans ce dernier cours, nous avons tout d'abord approfondi le concept de « corps multiples ». Les données de la pathologie ont en effet largement établi la possibilité, pour notre cerveau, de dédoubler la perception du corps (*cf.* les notions d'autoscopie, héautoscopie, sorties du corps, etc.), comme nous l'avons vu dans le cours sur la

pathologie et comme je l'ai développé dans mon livre *La décision*. Mais l'idée d'un dédoublement du corps se trouve aussi à un niveau plus élevé d'abstraction, comme en témoigne le langage (on parle de « corps social », du « corps des polytechniciens » (« Corpsard »), du « corps électoral », des « corps constitués », du « corps de la magistrature », du « corps enseignant », du « corps diplomatique », d'un « corps d'armée », « d'esprit de corps », de « corps de garde », etc. Kantorowicz a décrit les « deux corps du roi » : le Roi a en lui deux corps, c'est-à-dire, un « corps naturel » et un « corps politique ». « Son corps *naturel*...est un corps mortel, sujet à toutes les infirmités qui surviennent par Nature ou par accident... Mais son corps *politique* est un corps qui ne peut être ni vu ni touché, consistant en une société politique et en un gouvernement. Ce corps politique est entièrement dépourvu d'enfance, de vieillesse et de toutes les infirmités etc. » (p. 657). Kantorowicz généralise en écrivant que « deux personnes se combinent dans le pilote d'un avion : l'une, qu'il partage avec tous les autres passagers, car lui aussi est un passager ; l'autre lui est particulière, car il est pilote » (p. 992).

L'homme a toujours eu plusieurs niveaux d'identité : une nationalité, une place dans la famille, une appartenance à une religion, un village, un métier, un parti politique. Mais ces identités étaient, en général, assez stables au cours de la vie et, au fond, peu nombreuses. Aujourd'hui *les identités se multiplient* : dans le travail, en raison des changements de métier et des structures nouvelles du travail (projets, équipes transversales etc.), du travail collectif à distance, de la crise du management, etc. De plus, l'allongement de la durée de vie induit un télescopage des identités familiales. On est à la fois enfant, père, grand-père, arrière-grand-père. Le téléphone portable et la messagerie électronique obligent à jouer avec ces différentes identités de façon incessante. On change de statut d'une minute à l'autre, on a même plusieurs identités à la fois. On est aussi de plus en plus « représenté » : par son syndic de copropriété, son député, sa hiérarchie, son banquier... On délègue son identité. D'où des crises de confiance dans la valeur de ces multiples représentants. Le nom est, aussi, devenu une étiquette interchangeable mais cela n'a pas été toujours le cas : « Dans des cultures africaines, la nomination implique l'ensemble du groupe, son histoire, mais aussi, et peut être même surtout, le trajet d'un sujet en train de s'accomplir, ce que j'appellerai son "projet"... [Nommer] ce n'est pas se prononcer sur la substance propre, mais c'est toujours énoncer une prédiction sur l'état du monde du fait de son existence » (T. Nathan, *in* S. Gruszow, *L'identité : qui suis-je ?*, Le Pommier, 2006, p. 41). On change de nom comme l'ont fait les immigrants aux États-Unis, contraints et forcés, ou beaucoup de juifs en Europe après l'holocauste, en espérant que leurs enfants échapperaient à de futures persécutions.

Mon hypothèse est que cet éclatement des structures de l'identité rend très difficile la création d'une identité (aussi bien la *mèmeté* que l'*ipséité*) stable, cohérente, dans un *présent situé entre un passé et un futur*. Le sujet se trouve éclaté en de multiples identités qui ont des décours temporels, des histoires, des passés et des projets pour l'avenir différents. Tout ceci dans un monde où l'incertitude, au lieu de diminuer, croît de jour en jour (tempêtes, crise financières, perte de

confiance dans la démocratie, peur d'autrui, mouvements sociaux majeurs, pandémies), sans que des croyances ancestrales, des ancrages culturels, ou sociaux, ou simplement des habitats (écoumènes) assurent la stabilité du présent. Si on se réfère aux deux modèles de Gallagher, la « mémoire autobiographique », et donc la construction du « soi », est profondément perturbée. De même, le « soi narratif » devient éclaté et plus proche de son deuxième modèle distribué.

Nous avons terminé ce cours par une évocation de la pathologie des identités multiples. On les observe évidemment dans des atteintes psychiatriques diverses. En particulier, nous avons projeté un film d'interviews de patientes américaines, qui illustre une sorte d'épidémie survenue aux États-Unis il y a quelques années. Ces personnes se comportaient réellement comme si elles avaient plusieurs personnalités, plusieurs noms, plusieurs vies. Les causes de ces comportements n'ont pas été élucidées.

## SÉMINAIRES

### Séminaire 1 : en relation avec le sujet du cours

— 07/01/09, Pr. Philippe JEAMMET (Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, université René Descartes) : « *Adolescence : l'identité à l'épreuve de la liberté* » ; Dr Sylvie Berthoz-Landron (Paris Sud Innovation Group in Adolescent Psychiatry, INSERM, Institut mutualiste Montsouris) : « *Le développement de la régulation émotionnelle : apport des neurosciences* ».

— 14/01/09, Pr. Armin SCHNIDER (service de neuro-rééducation, département de neurosciences cliniques, hôpital universitaire de Genève) : « *Confabulation et confusion de la réalité : influences d'un trouble de la mémoire sur l'identité* ».

— 28/01/09 : Pr. Jean François BACH (secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, hôpital Necker) : « *Bases scientifiques de l'individualité biologique* ».

— 04/02/09, Pr. Philippe ROCHAT (département de psychologie, université Emory à Atlanta) : « *Le développement de l'identité chez l'enfant* ».

— 11/02/09, Pr. Antoine PELISSOLO (hôpital de la Salpêtrière) : « *Anxiété et identité* ».

### Séminaire 2 : « Cartes cérébrales »

Sous la forme d'un colloque organisé en commun avec la chaire de Processus morphogénétiques, le mardi 28 avril 2009

Introduction par Alain BERTHOZ et Alain PROCHIANTZ.

Chantal MILLERET (Collège de France et LPPA) : « *Rôle du corps calleux dans le développement et la mise en correspondance des cartes corticales visuelles* ».

Andrew KING (Oxford University, Department of Physiology, Anatomy and Genetics) : « *Using virtual adult ears to investigate the role of acoustical factors and experience in auditory space map development* ».

Patricia GASPARD et Alexandra REBSAM (INSERM U839, institut du Fer à Moulin) : « *Nouvelles données sur le rôle de l'activité dans la construction des cartes sensorielles* » Daniel BENNEQUIN (université Paris VII, département de mathématiques et LPPA, Collège de

France) : « *Les géométries du cerveau : l'exemple du système de neurones de grilles et du colliculus supérieur* ».

Ariel DI NARDO (CNRS et École normale supérieure, Paris) : « *Tracer son chemin de l'œil au cortex* ».

Robert BAKER (New York University) : « *Evolutionary development of extraocular maps* ».

Filippo RIJLI (Neurobiology Friedrich Miescher Institute, Bâle, Suisse) : « *Contrôle génétique de l'homunculus sensoriel* ».

Conclusions, par Alain PROCHIANTZ et Alain BERTHOZ.

### **Séminaire 3 : « Travail, Identités, Métier : quelles métamorphoses ? »**

Sous la forme d'un colloque international, organisé les 23, 24 et 25 juin 2009 au Collège de France, avec la chaire de Psychologie du travail du Professeur Yves CLOT (Conservatoire national des Arts et Métiers)

Ouverture par Alain BERTHOZ, Yves CLOT et Pierre CORVOL (Administrateur du Collège de France)

*Le travail en perspective historique*, par Denis WORONOFF (université Paris I Panthéon Sorbonne/Institutions et dynamiques historiques de l'économie, CNRS) :

***Le mot métier a-t-il encore un sens ?*** (présidence de Gerry RODGERS et Yves CLOT)

— *Métier, une idée neuve ?*, par Yves CLOT (chaire de psychologie du travail, CNAM/ Centre de recherche sur le travail et le développement).

— *De l'exercice à la supervision : les conducteurs de la RATP*, par Philippe MANCONE, directeur de la Ligne 1, RATP.

— *Organisation du travail et travail d'organisation*, par Gilbert DE TERSAC (université de Toulouse Le Mirail/Centre d'étude et de recherche Travail, organisation, pouvoir, CNRS).

— Commentaire par Gerry RODGERS (ancien directeur, Institut international d'études sociales, BIT, Genève).

***Concevoir le travail : nouveaux outils, nouvelles coopérations*** (présidence de Pierre FAVROT et Pierre FALZON)

— *Des méthodes de l'e-Learning*, par Philippe GIL (directeur de Demos e-Learning, Paris).

— *Conception distribuée des logiciels*, par Flore BARCELLINI (CNAM, centre de recherche sur le travail et le développement).

— *Le travail créateur*, par Pierre Michel MENDER (EHESS/Centre de sociologie du travail et des arts, CNRS).

— Commentaire par Pierre FAVROT (ancien PDG du groupe Wavin).

***Connaître et étudier le travail*** (présidence de Vincent NEVEU et Yves SCHWARTZ)

— *Le travail comme activité. Quel régime de production des connaissances ?*, par Yves SCHWARTZ (département d'ergologie, université de Provence).

— *Comment connaître le travail quand le travail n'est plus le travail*, par Abdallah NOUROUDINE (université des Comores).

— *Leçons de pierres : des mines de savoirs et des valeurs*, par Daisy CUNHA (faculté d'éducation de l'université fédérale du Minas Gerais, Brésil).

— Commentaire par Vincent NEVEU (technicien de maintenance, moyens d'essais, technocentre Renault, en formation continue en master d'ergologie).

**Le travail saisi par le droit** (présidence de Laurence THÉRY et François GAUDU)

— *Le contrat de travail entre protection et recherche de l'égalité*, par François GAUDU (université Paris I Panthéon-Sorbonne, Association française de droit du travail).

— *La prestation de travail*, par Pierre-Yves VERKINDT (université Lille 2).

— Commentaire par Laurence THÉRY (directrice du Centre d'ergonomie et de sécurité du travail, Association régionale pour l'amélioration des conditions de travail CESTP-ARACT, Picardie).

**Les frontières du travail** (présidence d'Annie FOUQUET et Florence WEBER)

— *Le travail invisible*, par Florence WEBER (ENS Paris, Centre Maurice Halbwachs/Centre d'études de l'emploi).

— *L'inaptitude au travail et les frontières mouvantes de l'employabilité*, par Catherine OMNÈS (université de Versailles Saint Quentin en Yvelines/Institutions et dynamiques historiques de l'économie, CNRS).

— *Le travail au-delà du travail*, par Michel GOLLAC (INSEE, Centre de recherche en économie et en statistique/Centre Maurice Halbwachs & Brendan Burchell, Faculty of Social and Political Sciences, Cambridge University, Royaume-Uni).

— *Travail et intimité*, par Viviana ZELIZER (Department of sociology, Princeton University, États-Unis).

— Commentaire par Annie FOUQUET (inspectrice générale des affaires sociales, présidente de la Société française de l'évaluation).

**Le risque** (présidence de Laurent VOGEL et François DANIELLOU)

— *Résilience organisationnelle*, par Erik HOLLNAGEL (Industrial Safety Chair, École des Mines de Paris, Sophia-Antipolis).

— *Risques opérationnels et risques environnementaux*, par François DANIELLOU (département d'ergonomie, Institut de cognitive, université de Bordeaux 2).

— *La production de la sécurité à l'hôpital*, par Pierre FALZON et Vanina MOLLO (chaire d'ergonomie, CNAM/Centre de recherche sur le travail et le développement).

— Commentaire par Laurent VOGEL (directeur du département santé-sécurité, Institut syndical européen pour la recherche, la formation, la santé et la sécurité).

**Corps, santé et pathologies du travail** (présidence de Philippe DOUILLET et Alain BERTHOZ)

— *Travail et réalité virtuelle : l'impact des nouvelles technologies sur la cognition et la prise de décision*, par Alain BERTHOZ (chaire de physiologie de la perception et de l'action, Collège de France).

— *Santé mentale et travail*, par Philippe DAVEZIES (Institut universitaire de médecine et santé au travail, université Claude Bernard Lyon 1).

— *Quand la magie du travail a disparu*, par Roland JOUVENT (service de psychiatrie hôpital La Salpêtrière/CNRS).

— *Troubles musculo-squelettiques. L'histoire d'une maladie professionnelle*, par Nicolas HATZFELD (université Evry Val d'Essonne, institutions et dynamiques historiques de l'économie, CNRS).

— Commentaire, par Philippe DOUILLET (chargé de mission à Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail, département santé et travail).

**Valeurs ajoutées** (présidence de Pierre FERRERI)

— *Fonctions publiques : changement de repères, identités troublées*, par Pierre FERRERI (réseau des écoles de service public ; école nationale de protection judiciaire de la jeunesse).

— *Comparaisons européennes sur la productivité du travail*, par Philippe ASKENAZY (Paris Jourdan science économique, CNRS/École d'économie de Paris).

— *L'approche par les capacités*, par Robert SALAIS (ENS-Cachan, Institutions et dynamiques historiques de l'économie, CNRS).

***Dignité, identité et reconnaissance*** (présidence de Josette THÉOPHILE et Michel LALLEMENT)

— *Reconnaissance au travail*, par Michel LALLEMENT (chaire de sociologie du Travail, CNAM/laboratoire interdisciplinaire pour la sociologie économique, CNRS).

— *Le travail émancipé*, par Pierre ROSANVALLON (chaire d'Histoire moderne et contemporaine du politique, Collège de France).

— *Métamorphose des identités sociales*, par Robert CASTEL (EHESS, centre d'étude des mouvements sociaux, CNRS).

— *L'emploi des âgés : une question de travail*, par Serge VOLKOFF (centre de recherches et d'études sur l'âge et les populations au travail, centre d'études de l'emploi).

— Commentaire par Josette THÉOPHILE (directrice générale adjointe, RATP).

***Nouvelles organisations, nouveau management*** (présidence de Mauricette FEUILLAS et Didier NAUD)

— *Le travail du manager fonctionnel*, par Didier NAUD (directeur du conseil de Demos Executiv, Paris).

— *Organisation et enquête dialogique*, par Philippe LORINO (ESSEC).

— *Peut-on gérer les ressources humaines ?*, par Marc BARTOLI (université Pierre Mendès France, Grenoble).

— Commentaire par Mauricette FEUILLAS (directrice du développement de la communauté managériale du groupe La Poste) et Jean WEMAËRE (PDG du groupe Demos, Paris).

Synthèse et points de vue par Georges AMAR (directeur de la prospective, RATP), Jacques FREYSSINET (président du conseil scientifique du Centre d'études de l'emploi), Laure MACHU (doctorante, université Paris X Nanterre), Stéphanie MAILLIOT (doctorante, université de Provence), Diane-Laure ARJALIÈS-DE LA LANDE (doctorante, ESSEC), Catherine COURTET (Agence nationale de la recherche), Alain BERTHOZ (professeur au Collège de France) et Yves CLOT, professeur au CNAM.

#### SÉMINAIRES DIVERS DU LABORATOIRE

— 3 juillet 2008 : « Learning movement time from space in the primate Posterior Parietal Cortex » (Dr Elizabeth B. TORRES, California Institute of Technology – États-Unis).

— 3 octobre 2008 : « Vestibular adaptation to head movements during high speed rotation » (Dr Silvestro MICERA, ARTS Lab, Scuola Superiore Sant'Anna, Polo Sant'Anna Valdera – Italie).

— 15 octobre 2008 : « Brain wiring and brain disorders » (Dr Mriganka SUR, Sherman FAIRCHILD, Professor of Neuroscience, Head, Dept of Brain and Cognitive Science MIT, Cambridge – États-Unis).

— 14 novembre 2008 : « Vestibular adaptation to head movements during high speed rotation » (Pr Lawrence YOUNG, Dept of Aeronautics and Astronautics MIT Cambridge – États-Unis).

— 6 mars 2009 : « Vestibular failure and atrophy - implications for navigation in humans » (Dr Michael STRUPP, Ludwig-Maximilians-University, Munich – Allemagne).

— 25 mars 2009 : « New Insights into Dementia : Progranulin, TDP-43 Aggregation, Frontotemporal Dementia, and ALS » (Dr Max S. CYNADER, Brain Research Centre, University of British Columbia and Vancouver Coastal Health – Canada).

— 29 avril 2009 : « Human-Centered Robotics » (Pr Ouassama KHATIB, Artificial Intelligence Laboratory, Department of Computer Science, Stanford University – États-Unis).

— 4 mai 2009 : « The cerebellum and motor control : Lessons from studying how well children recover from cerebellar surgery » (Dr Jürgen KONCZAK, University of Minnesota, currently at Italian Institute of Technology, Dept. of Robotics, Cognitive and Brain Sciences, Genova – Italie)

— 13 mai 2009 : « Corps agissant – Monde parlant » - « Acting body – Speaking world »

Journée du programme Perception sémiotique et socialité du sens :

Jean-Luc PETIT : « Corps agissant – Monde parlant : une Phénoménologie corrélationnelle ».

Friedemann PULVERMÜLLER : « Language woven into Action : From Wittgenstein to Brain & Cognitive Sciences ».

Luciano FADIGA : « The Motor Somatotopy of Speech Perception ».

Maurizio GENTILUCCI : « Language, Manual and Vocal – A Shared Communication System ».

Guglielmo TAMBURRINI : « The Brain and its Language in the Control of Robotic Actions ».

Carmela MORABITO : « Action as a Cognitive Factor in a Historical Perspective ».

Massimo STANZIONE : « The Motor Theories of Language Origin – A Critical Appraisal ».

Jean-Luc SCHWARTZ : « Elements of a Perceptuo-motor Morphogenesis of Language Units ».

René-Joseph LAVIE : « Towards a Model of Linguistic Know-how : Exemplars, Episodes, Alterity ».

Natalie DEPRAZ : « Husserl et la Pratique du Langage Phénoménologique ».

Christopher MACANN : « Action – Expérience – Expression ».

— 11 juin 2009 : « Neuromodulatory neurons in tune with behavior : significance for cognition » (Pr Susan SARA, Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action (LPPA) – Collège de France /CNRS).

## TRAVAUX DE RECHERCHE DES ÉQUIPES DU LABORATOIRE

### 1. ÉQUIPE MÉMOIRE SPATIALE ET CONTRÔLE DU MOUVEMENT

#### 1.1 MODÈLES COMPUTATIONNELS DE LA SÉLECTION DE L'ACTION

##### 1.1.1. Sélection de l'action

B. GIRARD, N. TABAREAU, Q. C. PHAM, A. CONINX, A. BERTHOZ (LPPA),  
en collaboration avec J.-J. SLOTINE (NSL, MIT)

Les ganglions de la base sont un ensemble de noyaux sous-corticaux interconnectés formant des boucles parallèles avec le cortex frontal. Ils semblent impliqués dans des processus généraux de sélection, guidés par apprentissage par renforcement. Nous avons proposé un nouveau modèle de ces boucles, intégrant des connexions

entre noyaux usuellement négligées, doté d'une capacité de sélection supérieure à celle du précédent modèle de (Gurney *et al.*, 2001a,b) et capable d'amplification sélective du signal cortical (Girard *et al.*, 2005, 2006). Nous avons également démontré la contraction des *locally projected dynamical systems* (IPDS) introduits par (Dupuis et Nagurny, 1993) et avons proposé de les utiliser comme nouveau modèle de neurones artificiels (Girard *et al.*, 2008). Le modèle contractant résultant a été appliqué à la résolution d'une tâche standard de survie en robotique autonome, afin de montrer son efficacité en tant que système de sélection de l'action. Il lui a de plus été adjoint un module motivationnel adaptatif augmentant l'autonomie du robot (Coninx *et al.*, 2008).

### 1.1.2. Modèle bayésien de la sélection de saccades

F. COLAS, F. FLACHER, B. GIRARD, A. BERTHOZ (LPPA),  
en collaboration avec P. BESSIÈRE (LIG, INRIA, Grenoble), L. CANTO PEREIRA,  
T. TANNER et C. CURIO (MPI, Tübingen)

Afin d'étudier le rôle de la prise en compte explicite de l'incertitude dans les processus de sélection de l'action, un modèle de sélection de cibles pour les mouvements des yeux formalisé dans le cadre de la programmation bayésienne a été développé. Il est fondé sur des cartes d'occupation reprenant la géométrie du colliculus supérieur. Parallèlement, une nouvelle tâche expérimentale, inspirée du protocole MOT (*Multiple Object Tracking*) de Pylyshyn, mais réalisée avec un champ de vision plus large et avec les yeux libres de bouger, a été proposée. Des mesures de mouvements des yeux dans cette tâche ont été menées par les partenaires de Tübingen, ces données ont été utilisées au LPPA pour tester et ajuster les paramètres du modèle. Ceci a permis de montrer qu'une prise en compte explicite de l'incertitude permet de mieux prédire les mouvements oculaires chez l'humain (Colas *et al.*, 2008, 2009). Ce travail est intégré au projet européen *Bayesian Approach to Cognitive Systems* (BACS).

## 1.2. CONTRIBUTIONS SENSORIELLES POUR LA PERCEPTION DU MOUVEMENT

M. VIDAL, A. CAPELLI (LPPA), EN COLLABORATION AVEC P. PRETTO,  
H. H. BÜLTHOFF (MPI, TÜBINGEN)

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre général de l'étude de la perception du mouvement propre. Lorsque nous nous déplaçons, nous disposons d'un ensemble d'informations qui sont traitées par le cerveau et renseignent sur notre mouvement relatif et notre position dans le monde.

### 1.2.1. Perception des vitesses lors de mouvements propres visuels

M. VIDAL (LPPA) & P. PRETTO, H. H. BÜLTHOFF (MPI, Tübingen)

Le traitement du flux optique joue un rôle fondamental dans l'analyse de notre mouvement. Je travaille actuellement en collaboration avec Paolo Pretto au MPI à Tübingen, sur un projet cherchant à caractériser l'extraction de la vitesse propre lors de translations visuelles sur un plan, en l'absence de repères. La relation entre la

vitesse angulaire (rétinienne) et linéaire (égocentrique) n'est pas triviale, et pourtant le monde que nous percevons ne se déforme pas lorsque nous nous déplaçons. Nous faisons des expériences pour étudier le mécanisme de compensation de l'inclinaison du regard et l'influence de la zone visuelle disponible (champ de vision total, vision centrale, vision périphérique) et du contraste. Ce dernier point, sujet à débat, présente un intérêt majeur pour les simulateurs de conduite lors de la reproduction de situations accidentogènes provoquées par le brouillard. Les résultats préliminaires indiquent qu'en situation de fixation du regard, la compensation est très bonne. Lorsque le regard suit une cible fixe lors des déplacements, la compensation est excellente en présence d'un large champ de vision, bonne également lorsque le champ de vision est réduit autour de la cible. Curieusement, cette compensation reste assez bonne y compris lorsque tout indice visuel est supprimé (plan sur lequel ont lieu le déplacement et l'expansion de la cible), ce qui indique que la composante cognitive joue un rôle fondamental. Ces résultats sont discutés dans un nouveau cadre théorique inverse de l'analyse de la structure à partir d'indices de mouvement (*structure from motion*). En effet, il s'agit ici de l'analyse du mouvement en fonction des informations structurelles, hypothétiques ou perçues.

#### 1.2.2. Mise à jour des informations spatiales : erreur systématique sans information vestibulaire ou intégration multisensorielle ?

A. CAPELLI & M. VIDAL (LPPA)

L'objectif de ces travaux est d'examiner le rôle des informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives dans la réactualisation d'une représentation interne de la position et de l'orientation d'un individu dans l'environnement. Plusieurs études indiquent que les informations vestibulaires jouent un rôle crucial notamment lors de l'intégration des rotations. Nous utiliserons une chaise roulante pilotée par ordinateur, un système de capture de mouvement et un casque de réalité virtuelle afin de dissocier chacune des modalités lors des déplacements. L'idée consiste à employer une tâche de pointage continu vers la position initiale ou vers une position donnée afin d'induire une mise à jour continue. Nous faisons l'hypothèse que dans ces conditions, les performances des participants à la tâche de pointage ne présenteront pas de biais systématique lorsque les informations vestibulaires seront absentes, comme montré dans Klatzky, Loomis *et al.* (1998). En revanche, plus le contexte sensoriel sera pauvre, notamment en l'absence d'informations vestibulaires, plus les erreurs d'intégration spatiale seront élevées, ce qui est cohérent avec les théories de l'intégration multisensorielle.

#### 1.2.3. Perception du profil de vitesse et estimation du temps restant avant l'impact

A. CAPELLI & M. VIDAL (LPPA)

Nos précédentes études ont permis de montrer que les informations d'accélération étaient utilisées pour estimer le temps restant avant l'impact (TTC) lors de mouvements propres simulés visuellement vers une cible (Capelli *et al.*, en révision). Nous avons donc voulu comparer la perception et l'estimation du TTC lors de

mouvements d'objet vers un sujet stationnaire et lors de mouvements propres vers une cible stationnaire. Nous avons utilisé l'écran courbe du LPPA (185° de champ horizontal). Trois différentes situations de mouvements ont été testées : mouvement d'un objet, mouvement propre ou mouvement relatif sans environnement visuel, pouvant être interprété par les participants comme étant un mouvement de l'objet ou un mouvement propre. Les sujets étaient tout d'abord soumis à une tâche de discrimination du profil de vitesse des mouvements. Puis, selon la situation de mouvements, la tâche des sujets était de préciser à quel moment une voiture en mouvement vers eux les atteindrait ou à quel moment ils atteindraient une voiture stationnaire. Les résultats indiquent que la discrimination des profils de vitesse et l'estimation du temps restant avant l'impact sont meilleures lors du mouvement propre que lors du mouvement d'objet et lors du mouvement relatif. Toutefois, lors des mouvements décélérés, les variations de vitesses sont négligées pour l'estimation du temps restant avant l'impact même lorsque le profil de vitesse est correctement perçu lors du mouvement propre.

### 1.3. NAVIGATION DANS DES ESPACES COMPLEXES À PLUSIEURS NIVEAUX

A. PASQUALOTTO, G. THIBAUT, J. FRANKENSTEIN, M. VIDAL, A. BERTHOZ (LPPA)  
& S. DONIKIAN (IRISA, Rennes)

Les recherches dans le domaine de la navigation concernent principalement les déplacements sur des surfaces simples 2D au cours desquels seule la rotation en lacet doit être intégrée. Dans cet axe de recherche nous avons abordé l'étude des fonctions cognitives et sensorielles humaines face à des situations plus complexes, notamment lors de la navigation dans des structures 3D de type bâtiment à plusieurs étages. Ces travaux entrent dans la continuité de la thèse de M. Vidal.

#### 1.3.1. Apprentissage séquentiel temporel ou spatial des différents niveaux d'un bâtiment

A. PASQUALOTTO, M. VIDAL, G. THIBAUT, A. BERTHOZ (LPPA)

Les études précédentes ayant abordé la navigation dans des environnements 3D ont trouvé que le mouvement dans la dimension verticale (d'un niveau à l'autre) introduit des déficits dans la représentation spatiale du bâtiment. Nous proposons d'étendre les connaissances empiriques sur ce sujet qui après tout est fondamental dans notre quotidien. En effet, nous passons une proportion considérable de notre vie urbaine dans des bâtiments à plusieurs niveaux. Nous commencerons par examiner les effets d'apprentissage avec des environnements 3D simples, afin d'entraîner les participants à différents types de routes pour tester si le problème que posent les déplacements dans des jonctions verticales (escaliers, ascenseurs, échelles) proviendrait du fait que les personnes explorent habituellement un nouvel environnement selon des trajectoires horizontales (dans le même étage). Ensuite nous utiliserons des environnements plus complexes (avec une structure irrégulière) et avec des jonctions verticales indirectes pour découvrir quelles sont les stratégies les plus efficaces pour apprendre les environnements multi-niveaux.

### 1.3.2. Mise à jour lors du changement de niveau d'une représentation spatiale acquise selon différents modes

J. FRANKENSTEIN, M. VIDAL, A. BERTHOZ (LPPA),  
en collaboration avec S. DONIKIAN (IRISA, Rennes)

De nombreuses études ont mis en évidence la capacité de mettre à jour une représentation spatiale lors de nos déplacements dans un environnement plan. Nous avons étudié la capacité à mettre à jour une configuration spatiale dans un niveau inférieur lors du passage à un niveau supérieur. En particulier nous nous sommes intéressés à l'influence que pouvait avoir le mode d'acquisition sur cette capacité de mise à jour dans un espace multi-niveau. Les participants devaient apprendre une configuration de machines défectueuses parmi un ensemble de machines disposées en grille dans un grand hall. Cet apprentissage se faisait selon quatre modes : déplacement le long du mur en vue 1<sup>re</sup> personne ou oblique derrière son avatar, en vue de dessus d'une carte de l'environnement ou vue des caméras de surveillance disposées aux quatre coins. Suite à l'apprentissage, les participants étaient amenés au premier étage et leur tâche consistait à pointer successivement vers les 4 machines défectueuses. Les résultats viennent d'être collectés, leur analyse est actuellement en cours.

### 1.4. VISUALISATION DE NUAGES DE POINTS LASER

J. DROULEZ (LPPA) & G. THIBAUT (EDF)

Il s'agit d'évaluer comparativement l'influence de 5 algorithmes d'éclairage sur la capacité des utilisateurs à percevoir des structures connectées (lignes de tuyauterie) représentées sous forme de nuage de points 3D (par exemple acquis dans des usines EDF).

### 1.5. ÉTUDE DU CHANGEMENT DE PERSPECTIVE VISUELLE DANS LA NAVIGATION SPATIALE HUMAINE

L. LAOU, A. BERTHOZ (LPPA)

Nous utilisons principalement deux types de perspective visuelle pour mémoriser un trajet dans l'espace : la perspective route et la perspective survol. La perspective route (ou perspective égocentrée) correspond à la vision de l'espace en trois dimensions telle qu'un individu la perçoit lorsqu'il se déplace physiquement dans un environnement. La perspective survol (ou perspective allocentrée) correspond quant à elle à une vue aérienne ou de type carte de l'environnement, c'est-à-dire à une vision de l'espace en deux dimensions. Les représentations de type route utilisent un cadre de référence égocentré dans lequel la localisation d'un objet se fait par rapport à celle de l'individu, tandis que les représentations de type survol sont construites dans un cadre de référence allocentré basé sur les relations spatiales entre les repères. Sur le plan comportemental, il a été montré que ces deux types de perspective pouvaient engendrer des connaissances et des performances différentes. Sur le plan neural, nous avons montré que deux réseaux partagent

certaines aires cérébrales étaient impliqués dans ces deux stratégies (égocentrée et allocentrée) et que ces dernières pouvaient être mémorisées en parallèle. Actuellement, nos travaux de recherche portent sur l'effet du changement de perspective sur les performances de navigation dans une ville virtuelle (collaboration avec Archividéo et Clarté). Nous cherchons également à mieux caractériser les corrélats neuro-anatomiques des stratégies égocentrée et allocentrée en utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf, collaboration avec NeuroSpin). De plus, un objectif complémentaire de nos travaux consiste à rechercher l'existence de différences entre les hommes et les femmes tant au niveau des stratégies de navigation que des régions cérébrales impliquées.

#### 1.6. MODÉLISATION BAYÉSIENNE DE LA MÉMOIRE SPATIALE MULTI-INDICE ET DE L'ACTION, POUR LA NAVIGATION HUMAINE

J. DIARD (laboratoire de psychologie et neurocognition UMR CNRS 5105)  
& A. BERTHOZ (LPPA)

Cet axe concerne la modélisation probabiliste des capacités spatiales chez l'humain. Il comporte deux parties principales. Dans le premier, nous étudions l'encodage des informations angulaires par des distributions de probabilités (par exemple, des distributions de von Mises). Nous explorons les conséquences théoriques d'un tel encodage, et démontrons, par exemple, qu'il est extrêmement pertinent comme base d'un système d'intégration de trajet : la résultante von Mises encode à la fois l'angle, mais aussi la distance entre le point de départ et la position actuelle. La seconde partie concerne la combinaison d'indices visuels pour la mémorisation de trajets. Reposant sur les observations tirées de l'expérience *Bayes City* (en collaboration avec M. LAFON et A. BERTHOZ), nous explorons les propriétés du modèle théorique de maximum de vraisemblance, dans le cas de l'encodage d'orientations. Nous démontrons que, contrairement au cas classique (Ernst & Banks, 02), la fusion d'indices d'orientations ne résulte pas systématiquement en une estimation plus fiable. Ces travaux ont pour cadre le projet européen BACS (*Bayesian Approach to Cognitive Systems*).

#### 1.7. MODÈLE DE PERCEPTION DU MOUVEMENT PROPRE

N. OUARTI (ISIR) & A. BERTHOZ (LPPA)

Ce modèle propose des idées innovantes pour modéliser la façon dont le système nerveux interprète les signaux de différentes natures (intermodaux ou intramodaux) afin de ne donner qu'une perception unique du mouvement propre d'un individu dans l'espace en 3D. Dans une deuxième étude sur les mouvements oculaires, nous avons cherché à mettre en lumière les relations existant entre la direction des saccades produites et l'orientation d'un plan observé par le sujet. Pour cela nous avons utilisé des outils originaux d'analyse de données.

### 1.8. PERCEPTION DES EXPRESSIONS ÉMOTIONNELLES DE LA LOCOMOTION

H. KADONE, A. BERTHOZ (LPPA) en collaboration avec H. HICHEUR (Hertie Institut, Allemagne), J. GREZES (laboratoire de neurosciences cognitives - INSERM 960)

Ce projet de recherche porte sur la perception des émotions d'autrui lors d'une tâche de locomotion. Une base de données des patrons locomoteurs d'acteurs professionnels venant du théâtre à Paris a été créée au moyen d'un système de capture du mouvement. Les acteurs devaient exprimer des émotions de colère, tristesse, peur et joie. Une analyse des propriétés cinématiques de leurs patrons locomoteurs a été effectuée. Elle montre que la vitesse de marche, l'orientation de la tête et du tronc dans l'espace varient en relation avec les émotions exprimées. Afin de confirmer si les indicateurs d'expression émotionnelle trouvés sont perçus, un avatar est programmé sur la base des propriétés cinématiques enregistrées des acteurs. Les résultats de cette nouvelle étude montrent que les observateurs perçoivent les émotions exprimées sur la base des propriétés cinématiques de la locomotion.

### 1.9. PLANIFICATION ET CONTRÔLE DE LA LOCOMOTION VISUELLEMENT GUIDÉE CHEZ L'HOMME

H. KADONE, A. BERTHOZ (LPPA) en collaboration avec D. BERNARDIN (RATP), D. BENNEQUIN (université Paris VI) & T. SUGAR (Arizona State University)

Ce projet vise à examiner le guidage visuel de la locomotion et plus précisément la stratégie « top-down » de réorientation du regard et des segments corporels. Un grand nombre d'études ont constaté que lorsqu'un humain marche en courbe les yeux, la tête, le tronc, anticipent successivement le changement d'orientation du segment sous-jacent (Glasauer *et al.*, 2002 ; Grasso *et al.*, 1996, 1998b ; Hollands, 2002 ; Imai, 2001 ; Prevost *et al.*, 2002 ; Takei *et al.*, 1996, 1997). Le mécanisme anticipatoire permet en outre une stabilisation de la tête favorisant l'intégration des informations visuelles et vestibulaires d'un cadre de référence stable et cohérent (Pozzo *et al.*, 1990, 1991 ; Pozzo *et al.*, 1995 ; Berthoz, 1997). Ces constats nous amènent à nous interroger sur les déterminants du degré de rotation de chaque segment et sur leurs relations temporelles lors de la locomotion. Quelle est la nature des synergies primitives reliant la vision et les autres segments du corps ? L'objectif principal de ce projet est d'identifier les synergies entre le mouvement des yeux anticipatoires, la tête et les différents segments du corps. Nous examinerons donc les synergies « top-down » dans un environnement visuel non contraint, sans stimuli ou but visuel dans la condition la plus primitive.

### 1.10. DYNAMIQUE D'INTERACTION DES PROCESSUS DE NAVIGATION

E. DUPIERRIX, A. BERTHOZ & M. ZAOUÏ (LPPA)

La capacité de se déplacer efficacement dans un environnement repose sur la mise en jeu de plusieurs stratégies et mémoires spatiales (Avraamides & Kelly, 2008). Cette interaction complexe des processus de navigation est l'objet de nos

recherches. Elle est étudiée à plusieurs niveaux. Une première série de recherches s'est intéressée à la dynamique d'interaction des référentiels spatiaux en mémoire. Au moins deux cadres de références seraient mobilisés lors de la navigation : un référentiel égocentré (centré sur soi) permet de construire l'environnement par rapport à notre position dans l'espace et un référentiel allocentré (centré sur le monde) de construire l'espace indépendamment de notre position (Berthoz, 1991 ; Burgess, 2006 ; Nadel & Hardt, 2004). La co-existence de cadres de référence et de représentations multiples en mémoire pose la question de leurs interactions. Notre projet de recherche vise plus particulièrement à étudier les mécanismes liés au changement de référentiels spatiaux en mémoire. Sommes-nous capable d'accéder à ces deux formes de constructions spatiales simultanément ou devons-nous accéder à ces différentes connaissances de manière séquentielle avec un coût cognitif et temporel lié au passage de l'une vers l'autre. Une seconde série d'expérimentation s'intéresse à la nature de nos constructions spatiales allocentrées parfois appelées « cartes cognitives ». La question que nous posons concerne la formation de ces connaissances spatiales et leur dépendance vis à vis des expériences épisodiques d'apprentissage. Il s'agit d'établir si la mémoire allocentrée est strictement sémantique, c'est-à-dire totalement dépourvue d'informations épisodiques ou si elle mobilise au moins au début (avant consolidation) des connaissances liées au contexte d'apprentissage. Le troisième axe de recherche concerne les processus de prise de décision au cours de la navigation. Choisir une direction plutôt qu'une autre dans un environnement crée un conflit entre deux besoins opposés : collecter des informations sur l'environnement et exploiter notre représentation de l'espace pour optimiser les décisions. À notre connaissance, ces décisions d'exploration et d'exploitation n'ont jamais été étudiées dans le domaine de la navigation spatiale. L'objectif de nos recherches sera de caractériser les processus sous-jacents à ces deux types de stratégies décisionnelles dans un contexte de navigation au sein d'un environnement complexe en combinant des méthodes comportementales et d'imageries cérébrales (EEG).

#### 1.11. EXPLORATION DE L'ACTIVITÉ INTRACÉRÉBRALE CHEZ L'HOMME :

RÔLE FONCTIONNEL DES OSCILLATIONS NEURONALES, ÉLECTROPHYSIOLOGIE

TEMPS-RÉEL ET INTERFACES CERVEAU MACHINE

K. JERBI (dynamique cérébrale et cognition INSERM U821) & A. BERTHOZ (LPPA)

J.-P. LACHAUX (INSERM), P. KAHANE (Hôpital de Grenoble)

Plusieurs études ont été menées cette année dans le cadre des projets européens *NeuroProbes* et *NeuroBotics*. Ces travaux ont été effectués en collaboration entre le LPPA et l'unité « Dynamique cérébrale et cognition » (INSERM U821 avec Dr Jean-Philippe Lachaux) à Lyon et le service d'épilepsie à l'hôpital neurologique de Grenoble (Dr Philippe Kahane). Ces études ont porté sur le développement de paradigmes expérimentaux ainsi que sur l'acquisition et l'analyse de données intracérébrales chez des patients épileptiques. D'une part, ces expériences avaient pour but d'explorer les réseaux cérébraux dont l'activité peut être modulée par le

sujet et détectée en temps-réel avec le système d'enregistrement intracérébral (stéreo-électroencéphalographie). Par ailleurs, l'analyse de données enregistrées lors de tâches oculomotrices visait à approfondir nos connaissances des mécanismes neuronaux qu'elles sollicitent et d'évaluer l'intérêt et les limites de la technologie actuelle d'enregistrement invasive chez l'Homme dans l'étude de tels phénomènes. Nos résultats ont permis de proposer et de tester des solutions innovantes pour de futures interfaces cerveau machine (ICM) via le développement de plateformes telles que *Brain TV* et *Brain Ball* (Jerbi *et al.*, 2009). De plus, nos analyses des données intracérébrales pendant des tâches de mouvements oculaires ont permis une caractérisation spatiale, temporelle et spectrale fine de la dynamique neuronale qui sous-tend la décision, la préparation et l'exécution de saccades. Enfin, nos études montrent l'intérêt des enregistrements intracérébraux pour l'étude de divers processus cognitifs et nous permettent de contribuer activement à l'élaboration et à l'évaluation de nouvelles générations d'électrodes intracérébrales, notamment des microélectrodes qui permettent des enregistrements unitaires. Le développement de celles-ci promet d'améliorer l'intérêt et la performance des enregistrements intracérébraux à la fois du point de vue clinique mais aussi pour les applications de type ICM et pour la recherche fondamentale en neuroscience.

#### 1.12. EMPATHIE ET RÉFÉRENTIELS SPATIAUX

B. THIRIOUX, Pr. JORLAND (EHES) & A. BERTHOZ (LPPA), en coopération avec O. BLANKE (EPFL, Lausanne), M. MERCIER (EPFL, Lausanne)

Pour explorer les mécanismes neurocognitifs du changement de perspective spontané lors de l'interaction avec autrui (Jorland et Thirioux, 2008), nous avons réutilisé notre paradigme de symétrie par rotation et réflexion élaboré en 2006-2007 (Thirioux *et al.*, 2009) au cours d'expériences en électroencéphalographie, menées en collaboration avec le Pr. Blanke (EPFL, Suisse). Les sujets devaient interagir avec un avatar (funambule en déséquilibre sur un fil) présenté de face ou de dos, (1) sans instruction explicite relative aux transformations mentales du corps et stratégies de changement de perspective, (2) en s'imaginant être à la place de l'avatar (*Own-Body-Transformation* [OBT]) ou encore (3) en imaginant que l'avatar était leur reflet comme dans un miroir (*Mirroring* [MIR]). Nos résultats montrent que les sujets prennent spontanément la perspective visuo-spatiale de l'avatar, par une transformation mentale du corps, reflétée dans le comportement moteur par une symétrie par rotation, similaire aux résultats obtenus dans la tâche OBT. Dans la tâche spontanée et la tâche OBT, ce changement de perspective active bilatéralement la jonction temporo-pariétale vers 510-620 ms et 400-500 ms après l'onset du stimulus, en fonction de la présentation de face ou de dos de la funambule, confirmant l'effet de rotation. En fonction de l'augmentation du degré de translation spatiale nécessaire à la transformation mentale, on observe une activation prédominante de la TPJ droite mais aussi une activation sélective du lobe pariétal inférieur gauche pour l'orientation de face. La tâche miroir explicite (ou réflexion par symétrie) en orientation de face active certains composants du système résonant,

incluant le cortex dorsolatéral préfrontal droit et les aires prémotrices droites mais aussi le cortex occipital droit (Thirioux *et al.*, en révision). Une seconde analyse a montré qu'imaginer l'avatar comme son propre reflet ou s'imaginer (spontanément comme explicitement) être à la place de l'avatar, dans l'orientation de face et de dos, activent communément la TPJ entre 130-190 ms, reflétant des mécanismes de codage vestibulaire et traitement de l'agentivité. Entre 330 ms et 440 ms, les trois types de transformations mentales du corps activent le gyrus frontal inférieur droit de façon sélective dans l'orientation de face (Thirioux *et al.*, en préparation), reflétant une phase virtuelle d'identification entre soi et autrui nécessaire à la mise en place des différentes stratégies de transformations. Nous avons donc élaboré un modèle de phases dynamiques d'activation cérébrale (entre 0 et 600 ms) lors de l'interaction avec autrui en fonction des différents mécanismes de perspectives visuo-spatiale et d'auto-localisation (Thirioux *et al.*, en préparation). Nous avons récemment commencé à tester ce même paradigme chez des patients épileptiques implantés (aHUG, Genève et en collaboration avec le Prof. Blanke [EPFL, Lausanne], le Dr. Arzy [HUG, Genève] et le Dr. Seeck [HUG, Genève]). Les résultats préliminaires indiquent une activation différentielle de l'hippocampe antérieur droit entre 170-380 ms et 450-630 ms (périodes temporelles correspondant à celles définies par l'EEG de surface), en fonction de la perspective de transformation spatiale réalisée (soit OBT soit MIR ; Thirioux *et al.*, en préparation).

## 2. ÉQUIPE APPROCHE PROBABILISTE ET PERCEPTION ACTIVE

Notre équipe étudie la perception des caractéristiques géométriques et dynamiques des objets, notamment dans le contexte de la perception active c'est-à-dire lorsque le sujet est engagé dans une tâche motrice impliquant une interaction forte entre le traitement des informations sensorielles et l'exécution d'une action motrice : mouvement du regard, déplacement de la tête, mouvement de la main. Nous développons également des modèles quantitatifs de la perception active suivant une approche bayésienne. Nous essayons également de proposer des mécanismes biologiquement plausibles permettant l'implémentation des calculs probabilistes. Enfin, nous proposons et nous évaluons différentes méthodes de restitution visuelle d'environnements ou de simulations de phénomènes physiques complexes.

### 2.1. PERCEPTION VISUELLE DES OBJETS ET DU MOUVEMENT

C. DEVISME, C. BOUCHENY & J. DROULEZ (LPPA)

Ces recherches sont organisées autour de 2 thèses. La thèse de Céline Devisme, soutenue le 22 février 2008, a été prolongée par un stage post-doctoral dans notre équipe. Cette recherche s'est déroulée dans le cadre d'une coopération avec la société Essilor. Elle est centrée sur l'étude des gradients de disparité binoculaires horizontaux et verticaux et leur influence sur la perception du relief en vision périphérique. Ces études ont permis de quantifier l'incidence des distorsions induites par le port de verres ophtalmiques. La thèse de Christian Boucheny (soutenue le 13 février 2009),

codirigée avec Georges-Pierre Bonneau, sous contrat Cifre EDF a pour objectif l'étude psychophysique des méthodes de visualisation scientifique, notamment les techniques de rendu volumique et de restitution cinématique. Christian Boucheny a mis en place de nouvelles méthodes de visualisation interactive, couplant un oculomètre de précision à des algorithmes de simplification dans le cadre de la visualisation de grandes bases de données tridimensionnelles.

## 2.2. PERCEPTION DU MOUVEMENT ET SYSTÈME VISUEL PRIMAIRE

S. CAPERN, J. DROULEZ (LPPA) & D. BENNEQUIN (institut de mathématiques, université Paris 7)

La thèse de Simon Capern (soutenue le 29 septembre 2008) a permis de développer un modèle dynamique de la représentation des fréquences spatio-temporelles dans le système visuel primaire en intégrant à la fois des comportements de neurones individuels et des activités mesurées au niveau des colonnes d'orientation par imagerie corticale. Simon Capern a également étudié un modèle robotique probabiliste de perception du mouvement d'un objet.

## 2.3. PRIOR ET CONDITIONNEMENT DANS LA PERCEPTION DU MOUVEMENT

J. DROULEZ (LPPA) en collaboration avec P. BESSIÈRE (CNRS-Grenoble)

Le raisonnement probabiliste est fondé sur l'application de deux règles générales : la règle multiplicative (ou règle de Bayes) qui détermine la probabilité conjointe à partir du produit de probabilités conditionnelles et la règle additive (ou règle de marginalisation) qui détermine la distribution de probabilité sur un sous ensemble de variables à partir de la probabilité conjointe. Cette deuxième règle n'avait pour l'instant fait l'objet d'aucune étude expérimentale. Dans ce travail, nous avons étudié le conditionnement des biais perceptifs de perception du mouvement par des combinaisons de deux indices de couleurs. Nous avons montré que les sujets après conditionnement présentaient encore un biais perceptif lorsque l'un ou les deux indices étaient absents. Ce biais perceptif résiduel peut être parfaitement expliqué par la règle de marginalisation.

## 2.4. IMPLÉMENTATION DES CALCULS PROBABILISTES PAR LES INTERACTIONS

BIOCHIMIQUES

J. DROULEZ, A. HOUILLOIN (LPPA) en collaboration avec P. BESSIÈRE (CNRS-Grenoble)

Les modèles bayésiens sont particulièrement efficaces pour rendre compte du comportement et de la perception face à des situations incertaines et des stimuli ambigus. Ces modèles supposent que le cerveau est capable de représenter des distributions de probabilités sur des variables pertinentes (forme, mouvement, position, etc.) et d'effectuer des calculs probabilistes sur ces distributions. Une question ouverte est donc de comprendre par quels mécanismes et à quel niveau les probabilités sont codées et manipulées. En collaboration avec Pierre Bessière,

nous explorons l'idée selon laquelle les réseaux biochimiques complexes de la signalisation cellulaire sont capables d'effectuer ces tâches computationnelles. Dans le cadre de sa thèse, Audrey Houillon développe cette idée en l'appliquant au fonctionnement des photorécepteurs, et plus particulièrement à la chaîne de réactions biochimiques du segment externe qui conduit de la photo-isomérisation du pigment rétinien à la régulation de la probabilité d'ouverture des canaux cGMP-dépendants et à l'adaptation rapide par le calcium intracellulaire.

### 2.5. VISUALISATION SCIENTIFIQUE : REPRÉSENTATION MULTI-PHYSIQUE ET PROBABILISTE DE PHÉNOMÈNES PHYSIQUES COMPLEXES

(A. CONINX, J. DROULEZ en collaboration avec G. P. BONNEAU et G. THIBAUT)

Les outils de simulation numérique sont largement utilisés par la communauté scientifique pour prévoir le comportement d'un système physique. Les calculs de plus en plus poussés génèrent de grandes quantités d'informations et une évaluation de l'incertitude sur les valeurs obtenues, qu'il faut ensuite pouvoir visualiser. La visualisation scientifique doit être guidée par les capacités de perception de l'utilisateur final afin de lui présenter toutes les informations dont il a besoin, et seulement ces informations. En outre, la compréhension et l'interprétation sont fortement liées à la capacité d'interagir avec le processus de visualisation. La thèse d'Alexandre Coninx, qui a commencé en 2009 avec le soutien d'EDF et avec la collaboration de G.P. Bonneau (Université Joseph Fourier, Grenoble) vise à proposer et à évaluer perceptivement de nouvelles méthodes permettant d'explorer visuellement les résultats de calcul pour y déceler les formes du phénomène étudié. Cette thèse s'intéressera particulièrement aux problématiques spécifiques posées par la modélisation multiphysique (par exemple, l'étude d'un fluide caloporteur communiquant sa chaleur à un solide qui subit des efforts implique 3 physiques : fluide, thermique et mécanique), encore peu étudiées.

## 3. ÉQUIPE INTÉGRATION INTERHÉMISPHERIQUE ET PERCEPTION SENSORIELLE

### 3.1. EFFETS D'UNE EXPÉRIENCE VISUELLE POSTNATALE ANORMALE

SUR LA SYNCHRONISATION NEURONALE AU NIVEAU DU CORTEX VISUEL ADULTE :

L. FOUBERT, C. MILLERET ; en collaboration avec J. DROULEZ (LPPA), D. BENNEQUIN (institut de mathématiques, université Paris 7) et M. A. THOMAS (plateau technique d'histologie, LPPA)

La question du maintien (ou non) de la synchronie neuronale au niveau du cortex visuel adulte après une expérience visuelle postnatale anormale a été abordé ici en combinant une approche anatomique et une approche computationnelle. Des axones individuels du corps calleux de chats adultes élevés avec une occlusion monoculaire induite précocement (groupe MD) ont été marqués *in vivo* à l'aide d'un marqueur antérograde, la biocytine, puis reconstruits en 3D. La propagation orthodromique d'un potentiel d'action dans chacun de ces axones a ensuite été

étudiée à l'aide du logiciel *NEURON*. Ce logiciel permet de contrôler différents paramètres qui interviennent pendant la propagation du potentiel d'action le long de l'arborisation axonale. Les données obtenues ont été comparées systématiquement à celles que nous avons obtenue précédemment chez des animaux normaux (groupe NR) étudiés avec une approche similaire (Houzel *et al.*, 1994 ; Innocenti *et al.*, 1994). L'architecture des terminaisons des axones calleux des animaux MD s'est révélée très différente de celle des axones calleux des animaux NR, avec surtout des branches plus longues et un premier nœud localisé beaucoup plus bas dans la substance blanche, sous le cortex. Toutefois, malgré ces anomalies et contre toute attente, après simulation de la propagation d'un potentiel d'action, il est apparu que la plupart des potentiels d'action arrivaient de façon synchrone (dans les 3 ms) à l'extrémité des terminaisons calleuses, comme chez l'animal normal. Ces résultats indiquent que la synchronie neuronale peut être préservée chez l'adulte en dépit d'une expérience visuelle postnatale anormale. Suivant l'hypothèse du « liage perceptif », ceci suggère que la perception visuelle peut s'effectuée correctement malgré des anomalies anatomiques importantes au sein du cortex visuel.

### 3.2. LA PLASTICITÉ ET LA CONSOLIDATION DE LA SÉLECTIVITÉ POUR L'ORIENTATION AU SEIN DU CORTEX VISUEL SONT RÉGULÉES DYNAMIQUEMENT PAR L'EXPÉRIENCE VISUELLE POSTNATALE

J. RIBOT ; en collaboration avec S. TANAKA, T. TANI, K. O'HASHI, K. IMMAMURA  
(Laboratory of Neurocomputing, RIKEN Brain Science Institute, Wako Shi,  
Japon)

La sélectivité pour l'orientation est l'une des propriétés les plus remarquables des neurones du cortex visuel primaire. Cette sélectivité est requise pour percevoir la forme des objets qui nous entourent. De nombreuses études se sont intéressées à la façon dont une telle sélectivité s'élabore dans les premières semaines après la naissance, ainsi qu'à la façon dont l'expérience visuelle peut la modifier. Les résultats obtenus divergent cependant : alors que certaines études envisagent un rôle majeur de l'expérience visuelle, d'autres études plus récentes ont au contraire montré que des processus endogènes, indépendants de l'expérience visuelle, existent et contribuent de façon essentielle à l'établissement de la sélectivité à l'orientation. On a étudié comment la sélectivité à l'orientation des neurones du cortex visuel primaire était modifiée lorsque la vision du chat était restreinte à une seule orientation. Pour cela, des lunettes semi cylindriques qui permettent de transformer l'environnement de l'animal selon une orientation ont été utilisées. Il a été démontré que des changements importants dans la sélectivité à l'orientation des neurones existaient. Ces modifications dépendaient grandement de l'âge de l'animal, ce qui a permis de montrer l'existence d'une période critique pour la plasticité à l'orientation. On a aussi montré que cette plasticité disparaissait lorsque l'on injectait un antagoniste des récepteurs NMDA. La présente étude révèle que la plasticité et la consolidation de la sélectivité à l'orientation dans les premiers jours de la vie sont régulées dynamiquement en fonction de l'expérience visuelle.

### 3.3. MODÈLE DYNAMIQUE DES RÉSEAUX NEURONAUX CONTRÔLANT LA COORDINATION DES YEUX ET DE LA TÊTE PENDANT LES MOUVEMENTS RAPIDES DU REGARD

A. GRANTYN (LPPA) ; en collaboration avec A. KARDAMAKIS  
& A. K. MOSCHOVAKIS (Institute of Applied and Computational Mathematics,  
Foundation of Research and Technology Hellas, Crete, Greece)

On a conçu et testé les performances d'un modèle des circuits prémoteurs du tronc cérébral à partir des données sur les décharges des neurones efférents du colliculus supérieur (CS) et des neurones pontobulbaires appartenant à des « générateurs » des saccades oculaires et des mouvements rapides de la tête. Les données propres des auteurs sur la connectivité de ce réseau exécutif ont été incluses dans le modèle. Ses traits marquants sont l'absence de la rétroaction du signal global du déplacement du regard au niveau du CS, la décomposition automatique de ce signal global en composantes oculaires et céphaliques, grâce à une pondération appropriée d'efficacité synaptique des projections tecto-réticulaires, l'action inhibitrice du générateur des mouvements de la tête sur le générateur des saccades oculaires et le couplage du signal de la position orbitale des yeux avec les neurones réticulaires agissant sur les motoneurones des muscles de la nuque. La performance du modèle a été testée par simulation sur MatLab/Simulink. L'optimisation des poids synaptiques entre les populations constituant le réseau a permis de reproduire un grand nombre des paramètres métriques et dynamiques des saccades oculaires et des mouvements de la tête pendant leur action combinée, ainsi que les décharges enregistrées expérimentalement au niveau de plusieurs populations des neurones impliqués.

## 4. ÉQUIPE BASES NEURALES DE LA MÉMOIRE SPATIALE ET NAVIGATION

4.1. MISE EN ÉVIDENCE DE L'INFLUENCE DES OSCILLATIONS À 200 HZ  
(« RIPPLES ») DE L'HIPPOCAMPE POUR L'APPRENTISSAGE ÉPISODIQUE SPATIALE :  
G. GIRARDEAU, K. BENCHENANE, M. B. ZUGARO, S. I. WIENER (LPPA) ; en  
collaboration avec G. BUZSÁKI (University Rutgers, USA)

En 1989, Gyorgy Buzsáki a proposé un modèle de consolidation mnésique en deux étapes. Pendant l'apprentissage, le rat encode les informations, période durant laquelle des oscillations à 5-10 Hz sont observées dans l'hippocampe. Ces informations seront rejouées pendant le sommeil durant des oscillations à haute fréquence (200 Hz) observées dans l'hippocampe et appelées « ripples », aboutissant à leur consolidation puis à leur transfert vers des structures corticales. La plupart des études publiées depuis vont dans le sens de cette hypothèse. En particulier, les réactivations ont bien été observées dans l'hippocampe, comme l'avait prédit le modèle. Cependant, même si les données suggèrent que la réactivation au moment des *ripples* pourrait être importante dans l'apprentissage, aucune étude n'a jusqu'à présent mis en lumière une relation de cause à effet entre *ripples* et apprentissage. De plus, il reste à détailler la façon dont les informations importantes sont

sélectionnées pendant l'acquisition pour être réactivées pendant le sommeil et transférées dans la mémoire à long terme. Nous avons étudié l'influence de la suppression des *ripples* sur l'apprentissage par l'utilisation de stimulations de la voie commissurale hippocampique qui, déclenchées par la détection automatique des *ripples*, entraînent une suppression de celles-ci. Les rats devaient résoudre une tâche de mémoire spatiale sur un labyrinthe radial et la stimulation était déclenchée chaque jour, pendant l'heure de sommeil qui suivait l'apprentissage. La suppression des *ripples* entraîne une diminution de la performance des rats, comparable à celle observée par des lésions de l'hippocampe. Ceci démontre que les *ripples* participent activement à l'apprentissage.

#### 4.2. RÉACTIVATIONS D'ENSEMBLES DE NEURONES DANS LE CORTEX PRÉFRONTAL MÉDIAN DU RAT PENDANT LE SOMMEIL À ONDES LENTES SUIVANT UN APPRENTISSAGE

A. PEYRACHE, K. BENCHENANE, S. I. WIENER (LPPA) ; en collaboration avec M. KHAMASSI (LPPA, UPMC), F. BATTAGLIA (LPPA, université libre Amsterdam)

Une des grandes hypothèses en neurosciences est que les neurones s'auto-organisent en sous-groupes représentant conjointement une certaine information : on parle alors d'assemblées cellulaires. Cependant, peu de travaux expérimentaux ont révélé une telle organisation, faute d'un nombre suffisant de neurones enregistrés et de méthode mathématiques pour les caractériser. Nous avons développé une nouvelle méthode mathématique permettant de caractériser à quel point ces assemblées définies pendant l'éveil étaient rejouées pendant le sommeil qui suivait. Nous avons appliqué une technique très répandue en analyse du signal, l'analyse en composante principale (ACP) à des enregistrements de neurones afin de détecter automatiquement les cellules qui déchargent simultanément. Nous avons observé qu'effectivement, quand l'ACP était appliquée sur toute une période d'éveil, elle permettait de distinguer différents sous-ensembles de neurones dans le cortex préfrontal déchargeant lors des comportements liés avec la tâche comportemental dans des différents endroits de l'environnement, et parfois en relation avec les différentes stratégies comportementales que l'animal explorait afin de comprendre la règle de la tâche. Nous avons pu mettre ainsi en évidence que, pendant le sommeil à ondes lentes, les assemblées cellulaires formées pendant l'éveil se réactivaient pendant le sommeil à ondes lentes. Plus particulièrement, elles se reformaient au moment particulier des *ripples* dans l'hippocampe, mettant ainsi en exergue une forte interaction entre les deux structures, selon toute vraisemblance déterminante dans le processus de consolidation mnésique. Finalement, nous nous sommes demandé si les assemblées du préfrontal rejouées de concert avec les *ripples* hippocampiques avaient des corrélats comportementaux particuliers. Il s'avère que les assemblées rejouées pendant les *ripples* étaient tout particulièrement celles formées au point de décision de l'animal, à partir de l'essai où il avait compris la tâche, quand sa confiance dans sa stratégie comportementale était maximale. Ainsi, il existe bien des mécanismes permettant de ne consolider

que les informations les plus pertinentes et les plus efficaces pour le comportement. Les mécanismes plus fins permettant de sélectionner spécifiquement ces assemblées restent incompris et feront l'objet de travaux ultérieurs. Des analyses plus détaillées ont révélé que ces assemblées cellulaires obéissaient à des lois propres, des phénomènes physiques très particuliers, dit « critiques » et cela laisse penser que des analogies très fructueuses sont peut être possibles pour comprendre la nature de l'activité cérébrale.

#### ACTIVITÉS DE LA CHAIRE

#### Publications

#### Équipe Mémoire spatiale et contrôle du mouvement Responsable : Alain BERTHOZ

#### Reuves à comité de lecture

— LAFON M., TONNOIR S., BERTHOZ A., THIBAUT G. : « Analyse de la préparation et de la réalisation des tirs radiographiques pour le contrôle non destructif des soudures en CNPE », *Radioprotection*, vol. 2008, 43(3), 409-428.

— LEHMANN A., VIDAL M., BÜLTHOFF H.H. : « A high-end virtual reality setup for the study of mental rotations », *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 2008, 17 (4), 365-375.

— SENOT P., BAILLET S., RENAULT B., BERTHOZ A. : « Cortical dynamics of anticipatory mechanisms in interception : a neuromagnetic study », *J. Cogn. Neurosci.*, 2008, 20(10), 1827-38.

— CAPPÀ P., PATANÈ F., ROSSI S., PETRARCA M., CASTELLI E., BERTHOZ A. : « Effect of changing visual condition and frequency of horizontal oscillations on postural balance of standing healthy subjects », *Gait Posture*, 2008, 28(4), 615-26. Epub 2008 Jun 9.

— MAOZ U., BERTHOZ A., FLASH T. : « Complex unconstrained three-dimensional hand movement and constant equi-affine speed », *J. Neurophysiol.*, 2009, 101(2), 1002-15.

— COLAS F., FLACHER F., TANNER T., BESSIÈRE P. & GIRARD B. : « Bayesian models of eye movement selection with retinotopic maps », *Biological Cybernetics*, 2009, 100(3), 203-214.

— LAFON M., VIDAL M., BERTHOZ A. : « Selective influence of prior map knowledge on kinesthetic learning of a locomotor path », *Exp Brain Res.* 2009, 194(4), 541-52. Epub 2009 Feb 20.

— IGLÓI K., ZAOUI M., BERTHOZ A., RONDÍ-REIG L., « Sequential egocentric strategy is acquired as early as allocentric strategy: Parallel acquisition of these two navigation strategies », *Hippocampus*, 2009. Epub ahead of print.

— JERBI K., OSSANDÓN T., HAMAMÉ C. M., SENOVA S., DALAL S.S., JUNG J., MINOTTI L., BERTRAND O., BERTHOZ A., KAHANE P., LACHAUX J.-P. : « Task-related gamma-band dynamics from an intracerebral perspective : review and implications for surface EEG and MEG », *Hum Brain Mapp.*, 2009, 30(6), 1758-71.

— JERBI K., FREYERMUTH S., DALAL S., KAHANE P., BERTRAND O., BERTHOZ A., LACHAUX, J.-P. : « Saccade Related Gamma-Band Activity in Intracerebral EEG: Dissociating Neural from Ocular Muscle Activity », *Brain Topogr.* 2009, 22(1), 18-23.

— THIRIOUX B., JORLAND G., BRET M., TRAMUS M.H. BERTHOZ, A. : « Walking on a line : a motor paradigm using rotation and reflection symmetry to study mental body transformations », *Brain Cogn.* 2009, 70(2), 191-200. Epub 2009 Mar 18.

— VIDAL M., LEHMANN A., BÜLTHOFF H.H. : « A multisensory approach to spatial updating : the case of mental rotations » *Exp Brain Res.* 2009, 197(1), 59-68. Epub 2009 Jun 21.

— VIDAL M. & BÜLTHOFF H.H. : « Storing upright turns : How visual and vestibular cues interact during the encoding and recalling process », *Exp. Brain Res.*, 2009 (en révision).

— CAPELLI A., VIDAL M., BERTHOZ A. : « Estimating the Time-to-passage of visual self-motion : Is the motion second order information accurately processed ? », *Vis. Res.*, 2009 (en révision).

### Ouvrages et chapitres d'ouvrages collectifs

— BERTHOZ A. & PETIT J.-L. : « The Physiology and Phenomenology of Action », trad. MACANN, C., Oxford University Press, Oxford, 2008, 350 pp.

— BERTHOZ A. : « Neurobiology of "Umwelt". How Living Beings Perceive the World », Series : *Research and Perspectives in Neurosciences*, Berthoz A., Christen Y. (Eds.), 2009, XII, 158 p. 22 illus.

### Équipe Perception et exploration actives des objets Responsable : Jacques DROULEZ

#### Reuves à comité de lecture

— PARADIS A.-L., DROULEZ J., CORNILLEAU-PÉRÈS V. & POLINE J.-B. : Processing « 3D form and 3D motion : respective contributions of attention-based and stimulus-driven activity », *Neuroimage*, 2008, 43, 736-747.

— HOULLON A. & DROULEZ J. : « Implementation of a Bayesian filter in a photoreceptor cell. », *Neurocomp08*, 2008.

— BOUCHENY, C., BONNEAU, G.-P., DROULEZ, J., THIBAUT, G., PLOIX, S. : « A Perceptive Evaluation of Volume Rendering Techniques », *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, vol.5 (4)-art. 23., 2009.

### Équipe Intégration interhémisphérique et perception sensorielle Responsable : Chantal MILLERET

#### Reuves à comité de lecture

— ROCHEFORT N.L., BUZÁS P., KOZA A., QUENECH'DU N., EYSEL U.T., MILLERET C., KISVÁRDAY Z.F. : « Functional Specificity of Interhemispheric Connections in Cat Visual Cortex », *Cereb Cortex*, 19, 2009, 2451-2465.

— TANAKA S., TANI T., RIBOT J., O'HASHI K., IMMAMURA K. : « A postnatal critical period for orientation plasticity in the cat visual cortex », *PLoS One*, 2009, 4:e5380.

**Équipe Bases neurales de la mémoire spatiale et navigation**  
**Responsable : Sidney WIENER**

**Revue à comité de lecture**

— ESCHENKO O., SARA S.J. : « Learning-dependent, transient increase of activity in noradrenergic neurons of locus coeruleus during slow wave sleep in the rat : Brain stem-cortex interplay for memory consolidation ? » *Cereb Cortex*, 2008 18(11), 2596-603.

— KHAMASSI M., MULDER A.B., TABUCHI E., DOUCHAMPS V., WIENER S.I., « Anticipatory reward signals in ventral striatal neurons of behaving rats », *Eur. J. Neurosci.*, 2008 28(9), 1849-66.

— MÖLLE M., ESCHENKO O., GAIS S., SARA S.J., BORN J. : «The influence of learning on sleep slow oscillations and associated spindles and ripples in humans and rats », *Eur. J. Neurosci.*, 2009, 29(5), 1071-81.

— SARA S.J., «The locus coeruleus and noradrenergic modulation of cognition », *Nat. Rev. Neurosci.*, 2009, 10(3), 211-23. Epub 2009 Feb 4.

— PEYRACHE A., BENCHENANE K., KHAMASSI M., WIENER S.I., BATTAGLIA F.P., «Principal component analysis of ensemble recordings reveals cell assemblies at high temporal resolution », *J. Comput. Neurosci.*, 2009 [Epub ahead of print].

— PEYRACHE A., KHAMASSI M., BENCHENANE K., WIENER S.I., BATTAGLIA F.P., « Replay of rule-learning related neural patterns in the prefrontal cortex during sleep », *Nat. Neurosci.*, 2009, 12(7), 919-26.

**Ouvrages et chapitres d'ouvrages collectifs**

— BENCHENANE K., ZUGARO M.B., WIENER S.I. : « Neural Bases of Spatial Learning and Memory », in BINDER M.D, HIROKAWA N., WINDHORST U. (eds.), *Encyclopaedia of Neuroscience*, Springer, 2008.

**Autres travaux et activités du Pr. Alain BERTHOZ**

**Conférences sur invitation**

— « Why should neuroscientists want to take advantage of neuroinformatics ? », INCF, FENS Forum 2008, 15 juillet 2008, Genève, Suisse.

— Lecture : International Summer School Fundamentals of Biorobotics, Waseda-Scuola Superiore Sa'Anna, 31 août/6 septembre 2008, Pise, Italie.

— « Fondements cognitifs de la perception de l'espace », colloque international *Creating an anthmosphere* – Faire une ambiance, Cresson /UMR Ambiances architecturales et urbaines, 10, 11, 12 septembre 2008, Grenoble, France.

— Conférence de synthèse, *International Cotrel Symposium* 2008 : « L'étiologie de la scoliose idiopathique – Un défi international », Institut de France, Fondation Cotrel, 13 et 14 octobre 2008, Paris, France.

— Conférence plénière : « Neural basis of the control of balance and locomotion : implications for diagnosis and rehabilitation of disorders », Rome Rehabilitation 2008, L'Uomo riparato, 5, 6 décembre 2008, université de la Sapienza, Italie.

— « Le cerveau entre le réel et le virtuel », conférences d'enseignement supérieur de Cannes – Les amis de l'enseignement supérieur, 6 février 2009, Cannes, France.

- « Brain mechanisms for spatial memory and sharing emotion. Implication for the design of humanoids », PhD School, Università di Genova – Istituto italiano di tecnologia, 25 février, Gênes, Italie.
- « Facteurs cognitifs dans les déficits moteurs », journée d'étude sur la recherche en faveur de la paralysie cérébrale – Fondation motrice, 17 mars 2009, Paris, France.
- « Décider : entre raison et émotion », semaine du cerveau 2009 – Centre interfacultaire de neurosciences de l'Université de Genève (UNIGE), 16-21 mars 2009, Genève, Suisse.
- Conférence plénière « New Frontiers between IST, Robotics and Cognitive Neuroscience », FET 2009 *Science beyond Fiction*, 21, 22, 23 avril 2009, Prague, République tchèque.
- Intervention sur le thème de la définition (théorique) du risque, de l'incertitude et de l'ambiguïté, séminaire organisé par le Centre d'analyse stratégique (Premier Ministre), mai 2009, Paris, France.
- Conférence plénière « Principes communs au contrôle des mouvements de la main et de la locomotion : utilité pour la conception d'humanoïdes », Journées nationales de la robotique humanoïde, 5 mai 2009, Nantes, France
- Conférence plénière « Perceptual approach to motor control in children and adults », congrès *Le nuove frontiere della riabilitazione tra ricerca ed etica. Fondazione Istituto Antoniano*, 28, 29, 30 mai 2009, Naples, Italie.
- Conférence plénière « Décider », 15<sup>e</sup> Congrès de la SFAP Soins palliatifs, médecins et société : Acquis et défis, 18, 19 juin 2009, La Défense, France.
- « Neurosciences et décision », école thématique du CNRS-CEPERC, La neuroéconomie : de nouvelles questions pour la philosophie économique, 29 juin-3 juillet 2009, La Baume-les-Aix, France.

### **Communication à des congrès avec abstracts**

- JERBI K., BERTRAND O., MINOTTI L., KAHANE P., BERTHOZ A., LACHAUX J.-P. : « Towards novel BCI strategies based on online functional exploration of human intracranial data », FENS Forum 2008, 12-16 juillet 2008, Genève, Suisse.
- OLIVE I. : Abstract selection "On spatial extension of touch pharmacological synaesthesia: links with early unimodal cortices multisensory convergence research", International Multisensory Research Forum 2008, 16-19 juillet 2008, Hambourg, Allemagne.
- JERBI K., FREYERMUTH S., BERTRAND O., KAHANE P., LACHAUX J.-P. & BERTHOZ A. : « High gamma parietal and prefrontal activity revealed by human intracortical recordings during saccade decision and preparation », *Proc. of the 16th International Conference on Biomagnetism*, BIOMAG 2008, Sapporo, Japan, August 25th-29th, 2008.
- CONINX A., GUILLOT A., GIRARD B. : « Adaptive motivation in a biomimetic action selection mechanism », NeuroComp, 8-11 octobre 2008, Marseille, France, in DAUCÉ, E., PERRINET, L. (eds.), pp. 158-162.
- COLAS F., FLACHER F., BESSIÈRE P., GIRARD B. : « Explicit uncertainty for eye movement selection », NeuroComp, 8-11 octobre 2008, Marseille, France, in DAUCÉ, E., PERRINET, L. (eds.) pp. 103-107.
- QUART N., BERTHOZ A. : « Multimodal Fusion in Self-Motion Perception using Wavelets and Quaternions », deuxième conférence française de neurosciences computationnelles, NeuroComp, 8-11 octobre 2008, Marseille, France.
- JERBI K., FREYERMUTH S., BERTRAND O., MINOTTI L., KAHANE P., BERTHOZ A. & LACHAUX J.-P. : « Intracranial recordings in human posterior parietal and prefrontal cortices reveal modulations of low and high frequency oscillations during decision, preparation and

execution of saccades », Neuroscience 2008 (SfN meeting), Washington D.C., USA, Nov 15-19, 2008 (presentation orale).

— BERTHOZ A., THIRIOUX B. : « Corporéité », colloque international *Mind the Brain!* Neurosciences et clinique : perspectives de sciences humaines et sociales, institut universitaire d'histoire de la médecine et de la santé publique, CHUV et FBM-UNIL, 19, 20 mars 2009, Lausanne, Suisse.

— KADONE H., HICHEUR H., GREZES J., BERTHOZ A. : « Nature of the kinematic cues underlying the perception of emotions during human gait », 19th International Conference of the International Society for Posture and Gait Research, 2009, Bologna, Italy, June 2009 (presentation orale et *abstract*).

— JERBI K., FREYERMUTH S., BERTRAND O., KAHANE P., BERTHOZ A., LACHAUX J.-P. : « High gamma parietal and prefrontal activity during saccade decision and preparation revealed by depth electrode recordings in humans », June 2009, HBM 2009, 15th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, San Francisco, CA, États-Unis (presentation orale)

— LANDGRAF S., AMADO I., PICARD H., OLIÉ J.-P., VAN DER MEER E., BERTHOZ A., « Spatial Reference in Schizophrenia », 10<sup>th</sup> World Congress of Biological Psychiatry, Young Scientist Award, June/July 2009, Paris, France.

### **Participation à l'organisation de la recherche**

- Membre du Conseil consultatif pour la Science France/Japon.
- Membre du Conseil scientifique de l'Institut de Neurosciences de Trinity College à Dublin.
- Membre du Conseil pédagogique du Mastère de Sciences cognitives (École doctorale 3C).
- Membre du Conseil scientifique du NEUROPOLE Ile de France et du RTRA « École de Neurosciences de Paris ».
- Membre du Conseil scientifique de l'institut Max Planck, Tübingen.
- Membre de la Commission de diffusion culturelle du Conservatoire des Arts et Métiers.
- Membre du Comité scientifique de l'AIST-CNRS Joint Japanese-French Robotics Laboratory (JRL).
- Membre du Comité de revue du département des sciences EPFL Lausanne.
- Membre du Comité scientifique du RTRA « Institut d'études avancées », Fondation Singer/ENS/EHESS.

### **Collaboration avec l'Industrie**

- Contrat avec la société Peugeot.
- Projet européen Euréka MOVES sur les simulateurs avec la Société Renault et Max Planck Institut, Tübingen et TNO Hollande.
- Projet Romeo, Pôle de Compétitivité Cap Digital, avec la société Aldebaran Robotics.
- Projet Matiss, Pôle de compétitivité Movéo, avec Renault.
- Organisation et Présidence du séminaire de prospective de la RATP sur « Cognition et mobilité », 5 séances et un atelier (2007 & 2008).

## Contrats de recherche et coopérations internationales

### *Projets européens*

- Projet BACS : projet européen dans le cadre de *Cognitive Systems*.

### *Rapports techniques*

— Julien DIARD, Matthieu LAFON et Alain BERTHOZ, *Bayesian modelling of visual cue combination in human path memorization tasks*, BACS European project deliverable 2.6, "Bayesian Approach to Cognitive Systems", European Community, "Information Society Technologies" Programme, July 2009.

— Matthieu LAFON, Julien DIARD, Marc CHEVALDONNE, Damien PAILLOT et Alain BERTHOZ, *Human path memorization for navigation in the virtual bayes city experiment*, BACS European project deliverable 2.9, "Bayesian Approach to Cognitive Systems", European Community, "Information Society Technologies" Programme, July 2008.

— Projet NEUROPROBES, IP dans le EC IST programme "Integrating and strengthening the European research area (2002-2006)".

— Projet COBOL, *Communication with Emotional Body language*, NEST *Pathfinder Measuring the Impossible Network (MINET) Programme*.

- Projet CLONS, projet européen (*Information and Communication Technologie*)

### *Autres projets*

— Projet Locanthrope – Programme de recherche ANR « Programme Système Interactifs et ROBotique ».

— Projet « Asymétries cranio-faciales », Fondation Cotrel-Académie des sciences (avec M<sup>me</sup> D. ROUSIÉ).

— Projet PerFRV2 - Réseau national de recherche et d'innovation en technologies logicielles (RNTL) (financement ANR).

## Thèses

### *Direction*

- IGLOI K. : *Strategies cognitive for navigation*, université Paris VI.

— FREYERMUTH S. : *Stratégies cognitives d'exploration par le regard, traitements conscient et non-conscient*, université Paris VI.

### *Jury*

— HARBONNIER-TOPIN Nicole : *L'interaction dans la production du mouvement dansé dans la classe technique de danse contemporaine*, Conservatoire national des Arts et Métiers, 7 juillet 2009, Paris, France.