

Chaire européenne

M. Guy A. ORBAN, professeur

Cours : traitement visuel et perception de la forme et mouvement

Leçon inaugurale

La Leçon inaugurale, intitulée **La vision, mission du cerveau**, part de la spécificité du cerveau pour en déduire les stratégies optimales d'étude de cet organe complexe. Ensuite, elle situe la vision dans le champ des neurosciences intégratives et cognitives et, enfin, s'attache à montrer l'importance de l'étude des circuits cérébraux en physiopathologie cérébrale.

Le cerveau est un organe différent des autres, à cause des prolongations neuronales (axones et dendrites) par lesquelles les neurones sont connectés les uns aux autres et échangent de l'information. Ces connections induisent des niveaux d'organisation spécifiques au cerveau, qui échappent aux études moléculaires et cellulaires. La seule façon d'aborder le cerveau est par la physiologie et les enregistrements unitaires qui, jusqu'à présent, sont les seuls à pouvoir percevoir le codage neuronal. Évidemment, ces enregistrements doivent être intégrés aux données complémentaires d'autres techniques, y compris l'imagerie fonctionnelle. Tout aussi naturellement, ils doivent être obtenus dans un modèle animal qui possède une vision suffisamment proche de l'homme et dont le système visuel est suffisamment semblable à celui de l'homme. Seuls les primates non humains satisfont à ces conditions.

Cette intégration est illustrée par les trois révolutions qu'ont connues les neurosciences visuelles. La première révolution est celle de la découverte du cortex visuel primaire (l'aire 17 ou aire striée, ou V1), œuvre de David Hubel et Torsten Wiesel, prix Nobel de médecine 1981. Ils ont décrit les champs récepteurs des neurones de V1 et leur sélectivité pour des paramètres simples des stimuli visuels, tels que l'orientation d'une barre lumineuse. Ces courbes de sélectivité en cloche sont au cœur du codage neuronal et expliquent les seuils de discrimination neuronaux. La comparaison entre seuils neuronaux et comportementaux permet

de faire des hypothèses sur le codage d'un paramètre simple par une population neuronale. Hubel et Wiesel ont également décrit un principe d'organisation fonctionnelle d'une région corticale : l'organisation colonnaire qui complémente l'organisation topographique ou rétinotopie. Le cortex primaire est organisé en colonnes de dominance oculaire, qui ne se retrouvent que dans V1, et en colonnes d'orientation, qui, elles, se retrouvent également au niveau de V2 et V3. Finalement, ils ont décrit la plasticité de la dominance oculaire. Un œil dont les signaux sont affaiblis perd son territoire : les colonnes correspondantes se rétrécissent et le nombre de neurones qui traitent de l'information provenant de cet œil diminue. Cette plasticité postnatale diminue progressivement pour disparaître vers 18 mois chez le primate non humain, marquant la fin de la période critique. Ces données obtenues dans des projets de recherche fondamentaux sur l'organisation fonctionnelle de V1 ont eu une répercussion clinique considérable et permettent de prévenir pour une large part les amblyopies. Ceci démontre très clairement l'imprévisibilité de la recherche et l'importance de soutenir une recherche de qualité plutôt qu'une recherche médiocre dont le seul avantage serait qu'elle est appliquée. Autant essayer de planter un arbre sans racines. Cependant le cortex primaire garde une certaine plasticité dite adulte, illustrée par l'apprentissage visuel. Prenant comme exemple l'apprentissage de la discrimination fine de l'orientation, Schoups *et coll.* (Nature 2001) ont montré que les neurones augmentaient la pente de leur courbe d'accord au niveau de l'orientation entraînée. Ceci a pour conséquence que seul les neurones les plus informatifs pour la tâche se modifient par l'entraînement. Nous avons donc mis à nu un nouveau principe de plasticité, fort différent de celui de Hebb qui opère pendant le développement.

La seconde révolution de la vision, c'est la conquête du cortex dit extrastrié, c'est-à-dire le cortex visuel associatif. Cette révolution est également largement dominée par les USA à cause du manque d'enthousiasme en Europe pour le modèle primate non humain. Même si la première aire extrastriée, l'aire MT/V5, a été découverte en parallèle des deux cotés de l'Atlantique, les 29 autres aires ont presque toutes été décrites par des chercheurs américains. Ce cortex associatif obéit à deux principes fondamentaux. D'abord, il est dépendant de la tâche : d'après la nature de celle-ci, d'autres opérations sont nécessaires et le signal visuel parcourt le système différemment : donc une aire ne sera engagée que si son traitement spécifique contribue à la réalisation de la tâche. Ceci est démontré par nos études menées en parallèle chez les primates humains et non humains, qui mettent en évidence l'implication du cortex fusiforme chez l'humain et du cortex infero-temporal (IT) chez le singe dans une tâche de comparaison successive. Les enregistrements au niveau de ce cortex infero-temporal montrent que cette région contient en effet la machinerie neuronale adéquate pour effectuer la comparaison de 2 stimuli qui se suivent à bref intervalle. L'autre principe est l'organisation en deux voies parallèles : une voie occipito-pariétale ou dorsale et une voie occipito-temporelle ou ventrale. Alors que la première voie traite l'information visuelle afin de guider les mouvements du corps, la seconde sert

plus à l'identification et à la classification des « objets » visuels (qui peuvent être des faces ou des animaux). Ces principes ne nous renseignent que peu sur les opérations spécifiques effectuées dans cette trentaine d'aires. Le cours donne un certain nombre d'exemples de ces opérations : le pourtour antagoniste qui dans certains neurones de MT/V5 induit une sélectivité pour la direction des gradients de vitesse — correspondant à la direction d'inclinaison en profondeur d'un plan —, la sélectivité pour la direction de mouvement d'un stimulus complexe (un carré plutôt que ses cotés), et la sélectivité pour la courbure en profondeur spécifiée par la vision stéréoscopique.

La troisième révolution est en route et elle se déroule au moins en partie en Europe. Partant d'une analyse de la lenteur des progrès actuels de la vision, je propose un double remède. D'abord jeter un nouveau regard sur le système visuel en l'abordant par l'arrière, par ses sorties vers les autres systèmes cérébraux qui sont les récepteurs de l'information visuelle. En effet la vision ne naît que quand le message nerveux quitte le système visuel. Ce nouveau point de vue amène naturellement à des idées de convergence vers les sorties visuelles rendant obsolètes les questions de « binding ». Ensuite : compléter les enregistrements neuronaux par l'imagerie fonctionnelle, non seulement chez l'homme, mais également chez le primate non humain éveillé. Cette triade des neurosciences cognitives permet non seulement de lever les faiblesses respectives des deux techniques mais également et surtout d'intégrer l'étude des cerveaux des deux espèces. Cette approche, qui doit beaucoup aux travaux de mon groupe, est illustrée par l'implication de l'aire MT/V5 et son homologue humaine dans l'extraction de la forme 3D à partir du mouvement, mais également par la mise évidence chez le primate non humain d'une signature MR spécifique des neurones miroir, dont l'identification chez l'homme laissait à désirer, et la démonstration de la similitude du FEF humain et simiesque par le groupe de Miyashita.

La triade des neurosciences cognitive est également importante pour la compréhension de la pathophysiologie du cerveau, puis qu'elle permet enfin une approche intégrée des circuits cérébraux, y compris ceux du cerveau endommagé ou malade. Ceci est illustré par la maladie de Parkinson, dont la cause moléculaire est connue depuis longtemps. Toutes les thérapies actuellement mises au point, non seulement de stimulation électrique, mais même les thérapies géniques, se basent sur la connaissance des circuits directs et indirects à travers les ganglions de la base.

Cours 2-4

Les trois cours suivants ont examiné à tour de rôle les trois composantes de la triade des neurosciences cognitives. Les enregistrements unitaires sont essentiels pour mesurer la sélectivité neuronale, clef de voûte de la capacité d'analyse du cerveau. En effet, la puissance de calcul du cerveau reflète l'existence de différentes populations de neurones sélectifs. Les neurones du cortex primaire sont sélectifs pour les paramètres de base tels que l'orientation, la fréquence

spatiale, la longueur d'onde, la direction et la vitesse de translation et la disparité binoculaire. Les neurones extrastriés élaborent ces sélectivités de base, comme par exemple certains neurones de MT/V5 qui sont sélectifs pour la direction de translation d'un stimulus complexe comme un carré. Les sources d'information employées par ces neurones de MT/V5 sont diverses : non seulement la direction du mouvement des composantes linéaires du stimulus complexe, comme l'affirmement Movshon et ses collègues, mais également celle des points remarquables comme les coins, point de vue défendu par Born et collaborateurs. Les neurones extrastriés acquièrent aussi des sélectivités « nouvelles » pour des attributs d'ordre supérieur, comme celles des neurones de MSTd pour les composantes du flot optique. Dans une première étape, les neurones de MSTd ont été décrits comme sélectifs pour la direction de rotation ou d'expansion/contraction. Ces neurones ne calculent pas la quantité de rotation présente dans les stimuli mais combien le stimulus se rapproche de l'optimum du neurone, p.e. d'une rotation dans le sens horaire. Dans une seconde étape, les neurones MSTd ont été testés pour leur sélectivité à la localisation de la singularité dans une expansion. Celle-ci représente la direction de navigation du sujet (*heading*), du moins lorsque les yeux sont immobiles. Une étude très récente a testé toutes les directions de navigation possibles dans l'espace et a montré que les optima des neurones MSTd couvrent uniformément l'espace.

L'imagerie fonctionnelle ne capte qu'indirectement l'activité de millions de neurones et ne peut mesurer la sélectivité de ces populations. Cependant, elle s'applique à l'homme et visualise les réactions dans tout le cerveau plutôt que celle d'un seul neurone. Une série de tests avec des stimuli en mouvement a permis d'identifier chez l'homme une région dans le sillon temporal inférieur, particulièrement sensible au mouvement et réagissant comme les neurones de MT/V5, et qui est considérée généralement comme l'homologue de MT/V5 et de ses satellites. D'autre part, des tests avec des stimuli balayant l'angle et l'excentricité dans un plan ont permis de délimiter un nombre d'aires organisées rétinotopiquement : V1, V2, V3 et également V3A. Cette dernière région est sensible au mouvement, ce qui n'est pas le cas chez le primate non humain. Au-delà des aires V1-3 et MT/V5+, plusieurs autres aires sont sensibles au mouvement, notamment 4 aires pariétales, le FEF et une région dans l'opercule pariétal. Finalement, une région d'ordre supérieur a été décrite dans le lobule pariétal inférieur. Elle répond au mouvement de stimuli colorés équi-lumineux avec un biais de saturation pour une des couleurs et au mouvement apparent opérant à grande distance. Cette région semble encoder du mouvement spécifié non pas par l'énergie lumineuse mais par le foyer de l'attention. Finalement une série de régions, aussi bien ventrales que dorsales, sont sensibles à la forme statique. Les régions ventrales, connues sous le nom de LOC, sont plus sensibles que les pariétales ; cependant, l'activation de celles-ci est de nature sensorielle (elle n'est pas due à l'attention). En fait une grande partie de ces régions occipitales et pariétales sont à la fois sensibles à la forme et au mouvement, ce qui est peut-être moins surprenant si on considère notre mode de vie ambulateur.

Le troisième volet de la triade, c'est l'imagerie fonctionnelle chez le primate non humain. Notons d'emblée qu'il est essentiel que le sujet soit éveillé, non seulement pour pouvoir établir des comparaisons avec les données humaines, mais aussi parce que l'anesthésie déprime l'activité neuronale de beaucoup de régions corticales et modifie la réaction hémodynamique sous-jacente à l'imagerie. L'imagerie fonctionnelle chez le primate non humain peut être comparée aux données physiologiques enregistrées par électrode afin de comprendre la base neuronale du signal IRMf. De plus, l'IRMf chez le singe permet d'explorer rapidement tout le cerveau en réaction à une nouvelle tâche, ou un jeu de nouveaux stimuli. Ceci sert de guide aux expériences comme les enregistrements unitaires, plus précises, mais également beaucoup plus lourdes. Enfin, elle permet surtout de passer du modèle à l'homme et d'établir des homologues entre les régions corticales des deux espèces. Des aires sont homologues si elles dérivent d'un même ancêtre commun. Cette question est beaucoup plus facile à résoudre pour les mammifères ou les primates en général que pour l'homme et le singe, puisque le nombre d'espèces que l'on peut considérer augmente la certitude du résultat. Tous les mammifères ont un cortex visuel primaire, auditif primaire, au moins deux aires somato-sensorielles et une aire primaire motrice. Les caractéristiques visuelles des primates sont une organisation laminée du corps genouillé latéral en quatre feuillettes, une représentation de l'hémi champ visuel controlatéral au niveau du collicule supérieur et des aires corticales V1, V2, V3, MT/V5 et probablement V3A. D'ailleurs, au-delà de V3A, la rétinotopie chez l'homme semble différer de celle du singe, et la rétinotopie de MT/V5 est également discutée. Le problème de l'identification des homologues des satellites de MT/V5 chez l'homme reste lui aussi posé, malgré plusieurs tentatives. Par contre, les homologues pour certaines régions pariétales commencent à se dessiner. En premier lieu, le cortex pariétal humain semblait très différent de celui du modèle singe parce que beaucoup plus sensible au mouvement et à l'extraction de la forme 3D à partir du mouvement. Des travaux ultérieurs sur la sensibilité aux formes visuelles de différentes tailles et aux saccades ont permis de surmonter cet obstacle apparent et de proposer des homologues précises. Finalement, des comparaisons des effets des saccades dans les deux espèces ont permis de confirmer l'homologie du *frontal eye field* (FEF), qui est situé dans des sillons à première vue très différents dans les deux espèces.

Cours 5-8

Les quatre cours suivants détaillent le traitement spécifique de certains aspects de la vision, utilisant les données unitaires comme fil conducteur, puisque seules ces expériences peuvent percer le codage neuronal, mais essayant de les étendre à l'homme si possible, en utilisant les deux chaînons d'imagerie fonctionnelle de la triade.

Afin de segmenter l'image, étape préalable à tout traitement visant à caractériser une partie de l'image, le cerveau doit résoudre trois problèmes : il doit

extraire le contour extérieur de l'objet dans l'image, il doit déterminer la partie de l'image qui est incluse dans ce contour et, s'il y a occlusion, il doit décider des parties d'images disjointes qui font partie de l'image du même objet. Le premier problème est résolu en extrayant des contours basés sur d'autres attributs que la luminance ; en effet, au bord d'un objet, beaucoup d'attributs changent simultanément. Nous savons depuis longtemps (Sary *et al.*, Science 1993) que cela est réalisé par les neurones infero-temporaux (IT). Mais il a été plus difficile de déterminer où ces contours sont extraits dans les aires de plus bas niveau. Pour les contours illusoire, cela semble être le cas dans V2, pour les contours cinétiques, ce n'est ni MT/V5, ni V1 mais plutôt V2 et plus encore V4. Ceci correspond aux données de l'imagerie puisque les contours illusoire et cinétiques activent des régions intermédiaires situées entre V3A et MT/V5 chez l'homme et V3 et V4 chez le singe. Le second problème est également résolu au niveau de IT, puisque certains neurones sont sélectifs pour des combinaisons de forme du contour extérieur et de texture à l'intérieur du contour. La solution initiale voit le jour dans les régions intermédiaires V2-V4. À ce niveau, certains neurones encodent de quel côté du contour se trouve la figure, définie par la luminance (*border ownership*) et d'autres analysent les propriétés des surfaces comme la couleur. Le troisième problème a trouvé également une solution au niveau de IT, puisque les neurones complètent des figures de façon amodale. Cela ne semble pas le cas au niveau de V1 ou V2, où les neurones complètent seulement les contours.

La vision stéréoscopique fournit des informations non seulement sur la position en profondeur des objets, mais également sur la structure en profondeur de ceux-ci. Cette structure en profondeur jointe à la description de la forme dans le plan de l'image (forme 2D) donne une description complète de la forme tridimensionnelle des objets. La première étape du traitement de la disparité horizontale, différence de position des images dans les deux yeux relativement au point de fixation, se situe au niveau du cortex visuel primaire. C'est l'endroit où les messages des 2 yeux se combinent pour la première fois et où un certain nombre de neurones de V1 sont sélectifs pour la disparité. Au niveau de V1, cette sélectivité se réduit à la disparité absolue, alors que quelques neurones de V2 sont sélectifs pour la disparité relative. Tous les neurones de V1 répondent également aux stéréogrammes aléatoires anti corrélés, bien que ceux-ci ne soient pas perçus en profondeur. Loin dans le système, dans une petite partie de IT, la région TE_s, les neurones sont sélectifs pour la courbure de disparité, c'est-à-dire la structure en profondeur spécifiée par la stéréo. Ces neurones codent de façon très fine la structure en profondeur aussi bien des surfaces que des contours. Ces neurones TE_s eux ne répondent plus aux stéréogrammes anti-corrélés, indiquant qu'à ce niveau le problème de correspondance stéréoscopique a été résolu. Finalement, comme certains neurones pariétaux, ils combinent les sources d'information stéréo et texture, du moins pour l'orientation dans l'espace de surfaces planes. Nous avons développé un test IRMf pour capter cette sélectivité à la courbure

en profondeur en étudiant l'interaction entre le facteur disparité (présente ou absente) et le facteur ordre de profondeur (zéro ou plus). Cette interaction est effectivement significative dans TEs, mais également dans AIP et une sous-région de F5, une aire prémotrice ventrale. Ces deux régions doivent contenir des neurones codant la forme 3D car elles sont sensibles à la fois à la forme 2D et la structure en profondeur. Des enregistrements unitaires au niveau d'AIP démontrent que cette région contient effectivement des neurones sélectifs pour la courbure et l'orientation en profondeur définie par la vision stéréoscopique. Comparés à ceux de TEs, ils répondent avec une latence plus courte, et codent la courbure de façon plus quantitative.

Il existe d'autres sources d'information pour extraire la structure en profondeur des objets à partir des images monoculaires : le mouvement, la texture et les variations douces de luminance (*shading*). Les neurones MT/V5 sont sélectifs pour la direction des gradients de vitesse, qui correspond à la direction d'inclinaison en profondeur d'une surface plane. Cette sélectivité, qui a été observée chez l'animal éveillé et anesthésié, repose sur la structure du champ récepteur, qui contient un pourtour antagoniste réduit à une zone suppressive. Ceci permet de prendre la dérivée spatiale de la sensibilité à la vitesse. Nous avons réussi à définir un test IRMf qui capte cette sélectivité : MT/V5 répond plus à des lignes articulées au hasard quand elles tournent et évoquent une structure en profondeur que quand elles sont en translation donnant l'impression d'une figure quasi plane. Ce test active également FST, un satellite de MT/V5, dont la fonction est inconnue. En enregistrant dans cette région, nous avons montré qu'elle contient effectivement des neurones sélectifs pour les paramètres de surface de premier ou second ordre, définis par le mouvement. Le même test IRMf, qui active MT/V5 dans le singe, active également la région homologue chez l'homme, mais aussi toute une série d'autres régions, dont les 4 régions pariétales sensibles au mouvement. Initialement, aucune région pariétale du singe ne répondait à la forme 3D définie par le mouvement, cependant les expériences plus récentes indiquent une faible sensibilité au niveau de AIP. Nous avons attribué cette plus grande sensibilité des régions pariétales humaines à la forme 3D extraite du mouvement à l'usage que fait l'homme des outils qu'il manipule avec ces mains. Ceci a reçu confirmation par une étude TEP récente. Des expériences ultérieures chez l'homme ont démontré l'importance de l'opacité des surfaces pour les activations par la forme 3D et, par le biais de tâches de discrimination, la spécificité des ces activations pour la forme 3D, par opposition à la configuration du mouvement dans l'espace. L'extraction de la forme 3D à partir de la texture et du *shading* est moins connue. Nos données toutes récentes indiquent que cette extraction se fait uniquement dans la partie postérieure de LOC pour le *shading*, et dans cette région et des régions pariétales pour l'extraction à partir de la texture.

Les neurones miroir sont bien connus : il s'agit de neurones prémoteurs, situés dans la région F5, qui, en plus de leur réponse motrice avant une certaine action, exhibent aussi une réponse visuelle à la vue de la même action exécutée par un

autre sujet (humain). Plusieurs études IRMf chez l'homme ont essayé de retrouver des sites d'activation correspondant à ces neurones miroir. Toutes ces études ont employé des vidéos dans lesquelles seule la main et une partie de l'avant-bras de l'acteur étaient visibles. À notre surprise, dans l'IRMf chez le singe, de telles vidéos n'activent pas la région F5c, définie histologiquement, où ces neurones miroir sont enregistrés. Mais une autre partie de F5, F5a, située dans la profondeur du sillon arqué répond à ces vidéos à main isolée, tandis que F5c requiert que tout l'acteur soit visible dans la vidéo (Nelissen *et al.*, Science 2005). Finalement, des régions préfrontales, les aires 45A et B, répondent également à la vue d'actions d'autrui, mais cette activité est plus générale, car la présentation visuelle d'objets est également efficace. Comment ces signaux visuels atteignent-ils le cortex prémoteur ? L'IRMf est idéale pour répondre à cette question. *A priori* on s'attend à deux régions corticales : l'aire PFG dans le lobule pariétal inférieur, où des neurones miroir ont également été observés, et le sillon temporal supérieur (STS), où les neurones répondent à la vue d'actions d'autrui. Effectivement, ces deux régions sont activées dans l'IRMf, mais seulement la région PFG est spécifique pour les vidéos acteur entier, comme F5c ; par contre la région voisine, AIP, est moins spécifique, comme F5a. Finalement toutes les régions dans le STS répondent de façon moins spécifique. Ceci nous a permis de proposer l'existence de deux circuits miroir : un passant par PFG et F5c, traitant de l'action d'autrui en accentuant l'acteur, et un passant par AIP et F5a, traitant de l'action d'autrui en accentuant l'objet de l'action. Grâce à la signature unique pour les neurones miroir de PFG et F5c, nous avons pu identifier ces deux aires chez l'homme, du moins dans l'hémisphère droit. Ceci a comme conséquence que l'homologue humain de F5 se trouve dans le cortex prémoteur humain (aire 6) et non dans l'aire de Broca comme souvent postulé. Ceci est confirmé par la sensibilité de la partie la plus ventrale de ce cortex prémoteur à la vue de forme tridimensionnelle, qui probablement correspond à l'activation des neurones canoniques. Ces régions identifiées comme « Mirior » chez l'homme ne correspondent pas exactement au système miroir humain identifié par la réponse à l'imitation. Ceci n'est pas étonnant puisque certaines de ces régions, comme la frontale inférieure, ne répondaient pas à l'observation d'action d'autrui. Une plus grande prudence s'impose et cette discordance jette une lumière crue sur la faiblesse de l'IRMf chez l'homme en absence d'IRMf chez le primate non humain, pour faire le lien avec les données neuronales.

Cours 9 : l'application à la pathologie humaine

Puisque les circuits font partie de la description du cerveau tant pathologique que normal, nous avons voulu montrer l'importance de la vision pour comprendre les symptômes de grandes maladies du cerveau dont les mécanismes sont largement inconnus et où la génétique jusqu'à présent n'a donné que peu d'éclaircissements. Toutes ces études nous viennent de nouveau des États-Unis, puisque c'est surtout là que les mécanismes neuronaux de la vision ont été élaborés. Ceci montre l'effet pernicieux du désintéressement en Europe pour le modèle primate

non humain : il retarde la clinique neurologique en Europe. La vision est atteinte dans la maladie d'Alzheimer. Les malades d'Alzheimer avérés souffrent de désorientation spatiale qui est largement due à un déficit dans le traitement du flot optique. Les seuils de discrimination de la localisation du foyer d'expansion, pour lesquels les neurones de MSTd sont sélectifs, sont anormalement élevés, surtout quand le flot optique change de signe (expansion ou contraction) de façon aléatoire. Il s'agit donc bien d'un déficit du traitement global des composantes du flot optique. Ces déficits peuvent se trouver chez des formes débutantes de la maladie et même chez des personnes âgées saines. Donc, contrairement à la vue classique selon laquelle Alzheimer débute toujours par un déficit de la mémoire, cette impitoyable maladie peut également débiter par la vision. Si on veut détecter la maladie au plus vite pour initier un traitement, les patients américains risquent d'être mieux lotis ! Comme dans la maladie d'Alzheimer il y a également atteinte du système d'extraction de la forme 3D à partir du mouvement, nos études IRMf de ces deux aspects, traitement flot optique et forme 3D à partir du mouvement, suggèrent que cette atteinte initiale se situerait au niveau de la région DIPSM, correspondante à LIP antérieur du singe. Nous avons ensuite évalué l'hypothèse que l'autisme correspond à un déficit du système miroir humain. Nous ne trouvons que peu de support pour cette vue. Pour y voir plus clair il serait urgent de mieux définir le système miroir humain, notamment pour les différents types d'actions que nous pouvons observer : est-ce qu'un geste de la main est la même chose qu'une expression faciale ? Beaucoup de données indiquent une origine temporelle de l'autisme, ce qui inclut des pathologies au niveau de régions impliquées dans l'observation des actions. Cette région temporelle postérieure constituerait la porte d'entrée sensorielle du traitement des autres comme sujets ayant un esprit. Finalement, nous avons indiqué que les schizophrènes souffrent également de déficits visuels, éventuellement dus à une atteinte régionale similaire à celle de l'autisme. Il est clair qu'il y a ici un grand champ d'investigations dont l'Europe est quasi absente. Espérons que ce cours aura contribué à sensibiliser l'opinion à propos de la politique scientifique désastreuse en matière de neurosciences en Europe.

SÉMINAIRES

30 mars : Yves Fregnac, CNRS (Gif) : La machine neuronale : sélectivité et architecture fonctionnelle.

6 avril : Jean René Duhamel, Institut des Sciences Cognitives (Lyon) Les neurones géométriques.

27 avril : Michael Shadlen, Washington University (Seattle) : Neural basis of visual decisions.

4 mai : Keiji Tanaka, Riken (Tokyo) : Features, objects, and object categories in monkey inferotemporal (IT) cortex.

11 mai : Andrew Parker, Université d'Oxford : Binocular Depth Perception and the Cerebral Cortex.

25 mai : Jan Koenderink, Université de Utrecht : Monocular Vision & the 3D Structure of Objects.

1^{er} juin : Leonardo Fogassi, Université de Parme : Action observation and action understanding : The mirror neuron system.

8 juin : Concetta Morrone, Université Vita-Salute S. Raffaele (Milan) : Analysis of complex motion over space, time and eye position.

PUBLICATIONS

ORBAN G.A., JANSSEN P. and VOGELS R. Extracting 3D structure from disparity. *Trends in Neurosci.*, 2006, 29 : 466-473.

ORBAN G.A. Higher order visual processing in macaque extrastriate cortex. *Physiol. Reviews*, in press.

DURAND J.B, NELISSEN K., JOLY O., WARDAK C., TODD J.T., NORMAN J.F., JANSSEN P., VANDUFFEL W. et ORBAN G.A. Anterior regions of monkey parietal cortex process visual 3D shape. *Neuron* in press.