



HAL
open science

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

Alain Berthoz

► **To cite this version:**

Alain Berthoz. Fondements cognitifs de la perception de l'espace. 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, Sep 2008, Grenoble, France. pp.121-132. <halshs-00836199>

HAL Id: halshs-00836199

<https://shs.hal.science/halshs-00836199v1>

Submitted on 20 Jun 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Conférence 2

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

Alain Berthoz

C'EST UN PRIVILÈGE DE VENIR parler devant vous aujourd'hui. Je sais très peu de choses sur les ambiances et leur conception, mais les organisateurs ont eu la gentillesse de me demander de partager avec vous un certain nombre d'idées, de faits expérimentaux sur les fondements cognitifs de la perception de l'espace. Nous allons donc parler de la façon dont le cerveau de l'homme traite l'espace.

L'espace, ce n'est pas seulement une affaire de géomètres et d'architectes. Il est utilisé depuis longtemps pour la mémoire. Depuis toujours les moines utilisent des espaces mentaux pour stocker des concepts, des données, des idées, et les curés dans les paroisses utilisaient ces espaces mentaux pour faire des cheminements et même trouver des sermons différents tous les dimanche. L'espace n'est pas simplement un lieu de mémoire, c'est aussi une technique utilisée depuis toujours pour trouver des solutions nouvelles dans les fonctions cognitives.

Le cerveau ne se contente pas non plus de recevoir des informations. Il projette sur le monde ses interprétations et ses hypothèses. Vous ne voyez pas deux morceaux de chien, vous voyez un chien complet derrière un arbre: ceci s'appelle le remplissage. Le cerveau invente des formes qui n'existent pas. Vous percevez un triangle, un rectangle, une ligne courbe: ce sont les fameuses formes de Kanizsa.

Le cerveau modifie les relations spatiales. Si je vous demande si ces cylindres ont la même taille, vous répondrez non, et si vous allez mesurer la taille de ces cylindres sur l'écran, vous pourrez constater qu'ils ont en réalité exactement la même taille. C'est le

Conférence 2

contexte géométrique qui influence votre perception. Le cerveau impose au monde perçu la symétrie. Lorsqu'on construit une chambre trapézoïdale, qu'on regarde par un petit trou à l'intérieur de cette chambre et que deux petites filles de même taille sont dans la chambre, le cerveau perçoit la chambre comme cubique, alors qu'en réalité elle est trapézoïdale. Le cerveau perçoit les deux petites filles comme ayant des tailles différentes. C'est ce que j'appelle la « tyrannie de la perception ». Le cerveau impose au monde des lois d'interprétation, de symétrie, de rigidité, etc. ; et il est prêt à faire des transformations formidables.

Dans le traitement de l'espace, le problème pour le cerveau c'est la multiplicité des espaces. Il n'y a pas « l'espace », il y a une multiplicité formidable d'espaces. Deuxièmement, percevoir l'espace n'équivaut pas à percevoir la géométrie, mais à percevoir un mouvement. Poincaré, le grand mathématicien, écrivait : « Localiser un objet dans l'espace, c'est simplement se représenter les mouvements qui seraient nécessaires pour l'atteindre. Ce n'est pas une question de se représenter les mouvements eux-mêmes, mais simplement les sensations musculaires qui les accompagnent. » Voilà l'un des plus grands géomètres de tous les temps énonçant qu'en réalité les fondements cognitifs de la géométrie sont dans les mouvements. Et Einstein écrivait : « Poincaré a raison, l'erreur fatale qu'une nécessité mentale précédant toute expérience est à la base de la géométrie euclidienne est due au fait que la base empirique sur laquelle repose la construction axiomatique de la géométrie euclidienne fut oubliée. La géométrie doit être considérée comme une science physique, dont l'utilité doit être jugée par sa relation avec l'expérience sensible. » Quel plaisir pour un physiologiste !

Autre difficulté : la perception de l'espace chez l'homme n'obéit effectivement pas aux règles de la géométrie euclidienne. Jan Koenderinck en Hollande, ainsi que Hansel et Flash ont montré qu'une partie de la gestion de l'espace par le cerveau se fait dans une géométrie « affine » ; et un très gros travail que nous préparons actuellement avec un mathématicien, Daniel Bennequin, et Tamas Flash affirme en réalité que le cerveau utilise plusieurs géométries, et pas seulement la géométrie euclidienne, pour le contrôle du mouvement et le traitement de l'espace. Il faudra sans doute réviser complètement toutes nos théories concernant la façon dont nous traitons l'espace à la lumière de ces découvertes et de ces théories. Cela ne veut pas dire, d'ailleurs, que le cerveau connaît vraiment ces géométries. Il n'en reste pas moins que nous sommes en présence d'une très grande révolution conceptuelle.

Évidemment, dire qu'il y a une multiplicité d'espaces, c'est poser le problème de l'échelle. Dans le cerveau, l'espace joue un rôle majeur, mais à cause de l'échelle, il y a l'espace des gènes, des molécules, l'espace des neurones, des réseaux, l'espace des sens, du corps en acte, c'est-à-dire les kinesthèses, et puis tout ce qui touche aux référentiels spatiaux dont je vais parler par la suite. Mais il y a aussi des espaces plus particuliers qui sont liés à l'action, la préhension, la navigation, etc. Donc, comprendre les fondements cognitifs de la perception de l'espace, c'est affronter les difficultés de la définition de l'échelle à laquelle nous travaillons.

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

Et puis, nous sommes confrontés, non pas à une difficulté, mais à un mystère : l'espace est perçu par les sens, les visions, puisqu'on a plusieurs systèmes visuels, les informations proprioceptives, tactiles, sonores olfactives, plus le système vestibulaire qui mesure les rotations de la tête en trois plans, – le plan horizontal et deux plans à 45° par rapport au plan du corps – ce qui constitue le référentiel fondamental de la perception des mouvements du corps dans l'espace et donc de la perception de l'espace.

Vous voyez donc qu'il est difficile de combiner toutes ces informations de façon à obtenir une perception cohérente, car chacun de ces capteurs fonctionne dans des référentiels, des géométries et des dynamiques différentes. Ceci a lieu pourtant, et les informations des sens convergent vers le cortex pariétal postérieur à travers le thalamus. Mais ensuite il se passe quelque chose de très étonnant. Dans le cerveau l'espace est traité dans les différentes structures dans des référentiels très différents. Dans le colliculus supérieur, qui contrôle les mouvements des yeux et de la tête, l'espace est représenté dans des coordonnées rétinotopiques, céphalotopiques. Dans l'hippocampe, dont je vais reparler tout à l'heure et qui est une structure impliquée dans la mémoire spatiale, se trouvent des neurones qui codent la place de façon allocentrée ; dans le putamen, une structure contrôlant les mouvements des membres. Les neurones ne savent rien sur l'espace extérieur, mais codent simplement les mouvements relatifs des segments corporels entre eux. Autrement dit, dans les différentes parties du cerveau, l'espace est traité dans des référentiels complètement différents et cela devient absolument non pas miraculeux, mais mystérieux. Comment pouvons-nous avoir une perception unique, d'une part de notre corps, et d'autre part des relations du corps avec l'espace ?

Partant, il n'est pas étonnant que tant de pathologies impliquent une désorganisation de l'espace. En réalité, nous pensons à présent que des désordres de la perception de la construction d'une cohérence dans la perception de l'espace constituent un trait transnosographique qui se retrouve aussi bien dans l'autisme, la schizophrénie, l'épilepsie, l'agoraphobie, etc.

C'est donc un problème extrêmement compliqué. Et, autre chose à la fois mystérieuse et intéressante, nous savons, d'après la neuropsychologie, qu'il y a dans le cerveau des systèmes différents pour traiter les espaces corporels, l'espace proche, l'espace lointain. Les neuropsychologues l'avaient déjà dit, et depuis longtemps. Mais des expériences d'imagerie cérébrale l'ont confirmé. Je vais vous donner quelques exemples de ce genre de résultats.

Par exemple, si on dirige un pointeur laser vers un objet placé à 70 cm, puis un autre à 1,70 m, – ce qu'ont fait nos collègues Allemands en mettant un sujet dans un scanner et en lui demandant de pointer vers deux surfaces relativement voisines –, on constate que ces deux pointages impliquent des réseaux complètement différents dans le cerveau. Par conséquent, il y a une ségrégation entre des espaces proches : l'espace corporel, l'espace extracorporel, etc. Des systèmes différents traitent ces différents espaces dans notre cerveau.

Il y a donc là aussi un problème tout à fait extraordinaire et important : comment faisons-nous pour passer de l'un à l'autre quand nous nous déplaçons dans un environnement, lorsque nous changeons de perception, lorsque, par exemple, je passe tout d'un coup d'une attention à mon espace corporel, ici, devant cette table, à ce qui se

Conférence 2

passer au fond de la salle? Il faut savoir que nous devons mettre en jeu différents systèmes dans notre cerveau et assurer une certaine cohérence, une certaine complémentarité dans le fonctionnement de ces systèmes. Encore une fois, ce n'est pas étonnant si d'une part les gens peuvent être désorientés, ne pas arriver à manipuler ces changements dans l'espace, et aussi souffrir de pathologies. Évidemment les artistes savent jouer de cela en nous désorientant, d'ailleurs nous travaillons actuellement avec des artistes, et à l'aide de la réalité virtuelle, pour créer en quelque sorte des situations intéressantes qui jouent sur ces phénomènes.

La question qui se pose est donc celle-ci : malgré la multiplicité et l'éclatement des représentations du corps et des espaces, y a-t-il une zone du cerveau où se construit l'unité du corps propre et de sa relation avec l'espace?

Eh bien! dans les années 1950, Penfield, le neurologue canadien, faisait des stimulations électriques du cerveau et avait produit une image absolument fantastique. Il disait qu'à la jonction temporo-pariétale existe des mécanismes de « conscience du schéma corporel et des relations spatiales » (*awareness of bodyskin and of spatial relationships*). Cette formule est importante et absolument géniale : elle forme un tout du corps et de ses relations avec l'espace.

Nous avons pu récemment identifier par l'imagerie cérébrale que cette zone située à la jonction temporo-pariétale, et qui est en relation avec quelques autres zones du cortex, constitue ce que nous appelons le cortex vestibulaire, c'est-à-dire la région qui reçoit les informations vestibulaires, mais qui intègre en même temps une grande quantité d'autres informations. En outre, avec Philippe Kahane (de l'hôpital Nord de Grenoble) nous avons montré que cette zone de la jonction temporo-pariétale n'est pas seule en cause. Lorsque chez des patients épileptiques ayant donné leur consentement, bien évidemment, nos collègues neurologues font des stimulations électriques, ils peuvent obtenir des illusions de rotation ou d'élévation tout le long de la zone du cortex périsylvien, dans le lobe temporal.

Toute cette zone du cerveau est donc visiblement impliquée dans cette tâche de très haut niveau qu'est l'établissement des relations entre le corps et l'espace. Il est intéressant de constater que c'est aussi ici que l'on trouve le cortex acoustique, la partie du cortex qui intègre aussi à un très haut niveau la perception spatiale des informations auditives. Vous savez que pour la vision, il y a deux voies, une voie dorsale qui traite les aspects spatiaux : « Où sont les gens dans la salle? » et une voie ventrale qui va vers le cortex temporal et traite des informations du genre : « Qui est quoi, qui est là? » Autrement dit, la perception des positions spatiales est traitée dans la partie dorsale, l'identité de chacun de vos visages est traitée dans la partie ventrale. Pour le traitement des informations acoustiques il existe aussi deux voies : une voie dorsale et une voie ventrale. Nous travaillons actuellement sur l'idée que c'est bien dans cette zone-là que se construit la cohérence. J'y reviendrai tout à l'heure.

Je vais passer très vite sur un autre aspect extrêmement intéressant, très peu exploré aujourd'hui, que Penfield avait vu il y a très longtemps et qu'il avait appelé les « hallucinations expérientielles de nature spatiale ». Il avait en effet montré que, dans cette zone-là, mais aussi dans la partie médiale, on peut évoquer par la stimulation électrique des sentiments de déjà-vu, de déjà-vécu. Le patient dit « Ah! Je me souviens que j'étais

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

assis sur un canapé avec ma mère, etc.» Il ne s'agit donc pas simplement de l'espace, mais encore de l'espace vécu. Je pense qu'il faut distinguer l'espace perçu, l'espace vécu et l'espace conçu. Ici, ce n'est pas l'espace perçu, c'est l'espace vécu dans son contexte d'action qui est concerné. Il y a donc tout un champ peu exploré actuellement dans lequel cette partie du cerveau est impliquée.

Exemples de travaux expérimentaux

Je voudrais vous présenter maintenant quelques exemples de travaux expérimentaux qui nous permettent d'étudier la façon dont le cerveau utilise les différents référentiels spatiaux pour la navigation.

Deux stratégies de navigation

Je peux vous demander de vous rappeler le chemin que vous avez fait depuis l'entrée du musée jusqu'ici. Vous pouvez le faire de deux façons. Vous pouvez vous rappeler les mouvements que vous avez faits : « Je suis allé tout droit, j'ai ouvert une porte, j'ai monté, j'ai tourné à gauche, j'ai rencontré quelqu'un. » J'ai associé les mouvements de votre corps, kinesthésiques, avec des événements et des sons. Mais vous pouvez aussi avoir en tête une carte du musée où se déroule ce colloque. Ce sont deux stratégies cognitives. Vous pouvez aussi vous rappeler par ces deux méthodes le chemin depuis votre hôtel jusqu'ici : les mouvements, la route, ou bien la carte.

La première stratégie, je l'appelle la « stratégie de route » ; elle est égocentrée puisqu'elle fait référence au corps. Vous dites : « J'ai vu ça, j'ai tourné à gauche, j'ai perçu ». La deuxième stratégie, la stratégie de survol utilisant une carte, je l'appelle « allocentrique » ou « topographique ». Elle a l'avantage de vous permettre éventuellement de retourner à votre hôtel par un autre chemin. Nous pensons que l'existence, chez l'homme, de cette stratégie est sans doute à la base de sa capacité à faire de la géométrie. Et nous travaillons évidemment sur les aspects tridimensionnels dont je n'aurai pas le temps de parler.

Restons-en à la navigation en 2 D, c'est-à-dire dans un plan. Nous avons fait en 2001 une étude préliminaire avec nos collègues de l'imagerie cérébrale, à Orsay. Il s'agissait de faire se promener des gens sur une route dans la ville d'Orsay en leur indiquant 7 indices, 7 repères spatiaux : une tour, une porte, etc. On leur avait dit : « Là, vous voyez, vous marchez, mais rappelez-vous bien la tour, la porte, etc. ». Puis nous avons pris un deuxième groupe à qui on avait simplement montré une carte, comme lorsque vous préparez vos vacances ou un trajet sur une carte. Dans le PetScan, nous avons donc demandé aux gens de répliquer les deux stratégies : soit de se rappeler leur trajet suivant la route ; soit, dans le deuxième groupe à qui on avait simplement montré une carte, de faire des opérations typiquement allocentrées. C'est-à-dire que nous leur avons demandé non pas de se rappeler le trajet d'un point à un autre, puis à tel autre, etc. – ce qui implique une attitude égocentrée –, mais par exemple : « Est-ce que la distance du point rouge au point jaune est plus grande que celle du point violet à cet autre ? » Comme si je vous demandais d'évaluer sur une carte si la distance de Bordeaux à Strasbourg est plus grande que la distance de Marseille à Paris. Nous avons trouvé que, dans ces deux stratégies, de nombreuses aires

Conférence 2

du cerveau étaient activées, certaines d'entre elles étant liées à la vision, aux mouvements des yeux. Mais, dans le lobe temporal, nous avons découvert une différence intéressante : la stratégie de route activait bilatéralement une structure à l'époque mal connue qu'on appelle le parahippocampe ; la stratégie de carte activait l'hippocampe droit, ce qui n'était pas étonnant parce que les neuropsychologues nous avaient montré depuis très longtemps que les patients qui avaient des lésions de l'hippocampe droit avaient des déficits de la mémoire topographique.

Ceci était nouveau à l'époque. Depuis, un très grand nombre de travaux ont été faits—il en paraît presque un par semaine—, qui ont montré que le parahippocampe, qui est activé lorsqu'on essaye de se rappeler sa route dans un espace, est particulièrement intéressé dans le traitement des éléments de l'environnement, plus précisément des vues de l'environnement. Dans un premier temps—il n'y avait pas beaucoup de travaux sur ce sujet à cette époque—, on a cru qu'il s'agissait d'un traitement de l'espace des bâtiments, mais le cerveau ne code pas les bâtiments. Par contre, je mentionne une autre zone cérébrale appelée gyrus fusiforme qui est particulièrement spécialisée dans la perception des visages d'animaux, des visages de personnes. Autrement dit, il y a une spécialisation fonctionnelle dans l'élaboration de la perception de l'espace qui opère une distinction entre les éléments naturels et les éléments tels que des bâtiments. Ceci est intéressant, parce qu'effectivement, quand vous vous rappelez votre route, vous vous rappelez qu'à un moment donné vous avez perçu une vue, et pas seulement une vue, mais éventuellement des vues partielles de l'environnement, une association acoustique, etc.

Différence selon le genre

Une autre chose importante, mais dont je n'aurai pas le temps de parler longuement, donne lieu aujourd'hui à un très grand nombre de travaux : il est apparu, comme cela avait été dit précédemment par les psychologues, qu'il y a effectivement une très grande différence entre les hommes et les femmes dans le traitement de l'espace.

Nous savons que certains individus sont plus visuels, d'autres proprioceptifs, etc., mais aussi qu'il existe aussi des différences liées au sexe. Par exemple, des travaux suggèrent que, dans une tâche de navigation en environnement virtuel, les femmes utilisent surtout un réseau pariétofrontal qui traite plus particulièrement les aspects égocentrés. Autrement dit, les femmes ont plutôt tendance à décrire les trajets, avec une stratégie de route, alors que les hommes activent, selon ces travaux qui ont donné lieu à discussion bien évidemment, des stratégies de type carte. Je ne donne ici qu'un tout petit résumé, mais il existe actuellement une abondante littérature sur ce sujet très intéressant. Conclusion : la mémoire kinesthésique des routes utilise des opérateurs qui simplifient la neurocomputation. À la question : « Est-ce qu'on peut aller vraiment plus loin pour définir les aires du cerveau impliquées dans cette différence entre le traitement égocentré et le traitement allocentré ? », la réponse est positive. Par exemple, nous avons travaillé il y a quelques années déjà, avec des collègues de Rome spécialistes de la « négligence », sujet très étudié d'ailleurs par le laboratoire de psychologie de Grenoble. Il s'agit d'une pathologie liée à une lésion du cortex pariétal droit, qui fait que les gens voient l'espace, mais n'en

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

traitent que la moitié. Par exemple, si j'étais négligent, je ne décrirais ici que la partie droite de cet amphi, je négligerais complètement tous ceux d'entre vous qui sont à gauche; je ne mangerais que la moitié droite de ce qui est dans mon assiette; je ne dessinerais que la moitié des objets. Or, dans certaines des tâches d'identification de scènes que nous avons données à traiter, nous avons trouvé que des tâches égocentrées activaient effectivement ce système pariétofrontal principalement à droite, alors que des tâches allocentrées activaient en plus tout le système temporel.

La manip du palais

Mais tout cela appartient déjà au passé et je voudrais vous décrire une expérience sur laquelle nous travaillons beaucoup, à la fois avec nos collègues Italiens, à Paris, et à Grenoble avec l'équipe de Philippe Kahane, ainsi qu'avec Jean-Philippe Lachaux à Lyon. C'est une expérience que nous appelons la «manip du palais»: nous créons un monde virtuel—nous utilisons énormément les mondes virtuels dans notre laboratoire. Comme nous manions beaucoup de paradigmes, la réalité virtuelle visuelle est très intéressante pour ces études de stratégies cognitives. Les sujets sont mis dans la situation d'un palais, à l'intérieur duquel nous les promenons en hélicoptère. Ils ont vraiment l'impression d'être dedans, de se promener dans cet espace, au-dessus de ce jardin. Puis nous plaçons trois objets dans la cour: deux poubelles et une balle et nous demandons au sujet de bien vouloir faire quatre tâches.

Première question: «Laquelle des poubelles est tombée?». Il s'agit d'une tâche purement visuelle d'identification d'objet.

Deuxième question: «Laquelle des poubelles est la plus proche de vous?». Vous allez sans doute répondre «la bleue», «la verte», «la bleue et peut-être la verte». Il s'agit d'une tâche égocentrée, puisque vous avez à mettre cette poubelle en relation avec votre corps.

Troisième question: «Quelle poubelle est la plus proche de la balle?». C'est une tâche que vous pourriez faire avec la géométrie, en égocentré, mais que vous pouvez faire surtout en allocentré, c'est-à-dire sans avoir à mettre en œuvre votre corps, simplement par une mesure de distance relative. Ceci fait d'ailleurs penser aux tâches de bissection de lignes, pour ceux d'entre vous qui sont neuropsychologues.

Quatrième question, qui est la plus importante: «Laquelle des poubelles est la plus proche de la face la plus longue du palais?» Comme nous ne montrons qu'une petite partie du palais, il faut pour répondre que le sujet reconstruise dans sa tête la totalité du palais, un peu comme si je vous demandais: «Est-ce que cet écran est parallèle à la façade de la gare de Grenoble?» Les Grenoblois peuvent répondre très vite, les non-Grenoblois plus difficilement? La réponse exige donc de passer d'une représentation égocentrée à une représentation «allocentrée», (on discute beaucoup ce mot), c'est-à-dire de procéder à un changement complet de référentiel pour reconstruire un espace donné.

Le résultat est que la tâche égocentrée active le système pariétofrontal—comme c'est aussi le cas dans d'autres tâches—qui est impliqué dans la négligence, alors que la

Conférence 2

tâche allocentrée implique une partie de ce système et, de plus, une partie d'un système possédant une structure qui nous intéresse beaucoup ici, le cortex rétrosplénial.

Avec l'équipe de Grenoble, nous avons la chance de pouvoir avoir accès à des patients épileptiques qui restent pendant une ou deux semaines dans leur lit avec des électrodes implantées dans le cerveau pour l'exploration des foyers épileptiques et qui veulent bien collaborer avec nous à ces expériences. Ce travail n'a pas encore été publié, il est en cours de dépouillement. Lorsque nous faisons cette expérience avec un patient et que, par exemple, nous enregistrons dans son cerveau l'activité du parahippocampe, cette structure qui est impliquée dans la perception des scènes, voilà ce que nous observons.

Cela s'appelle une carte fréquence-temps. Ici c'est le zéro, c'est le moment où on montre l'image, PING, l'image arrive. Là c'est le temps. Et la fréquence d'oscillation de l'électroencéphalogramme, globale, ce n'est pas des unités, des *neuron units*, c'est l'EEG intracrânien.

Vous voyez ce qui se passe quand on demande au sujet «quelle poubelle est tombée?»;

Voici ce qui se passe quand on demande au sujet «est-ce que vous savez quel objet est plus proche de la balle?»;

Voici pour la tâche égocentrique;

Et voici ce qu'on enregistre dans la bande dite gamma lorsqu'on demande au sujet de faire cette tâche plus compliquée d'identification par rapport à la façade la plus longue du palais. Voyez cette prolongation de l'activité.

Changer de point de vue en chemin

Autrement dit, nous avons maintenant la possibilité de faire de la physiologie, et, soyez rassurés, je vais m'arrêter là avec la physiologie, ce n'est pas forcément ce qui vous passionne. En revanche, ceci peut vous intéresser: lorsqu'on doit rentrer chez soi ou lorsqu'on doit repartir de là où on est venu, on doit en fait changer de point de vue. On ne doit pas seulement se rappeler son chemin, on doit en plus se rappeler de son chemin en ayant changé de point de vue. On doit donc pouvoir manipuler l'espace. Et lorsqu'on construit une ambiance, on doit éventuellement tenir compte du fait que les gens ne doivent pas seulement mémoriser ce qu'ils ont fait, mais qu'ils doivent pouvoir, grâce aux éléments de l'espace, retrouver leur chemin d'un point de vue différent.

Est-ce qu'il est possible de trouver les bases neurales de ces changements de point de vue? Cela peut être fait dans des tâches purement visuelles. Par exemple, ici, je peux vous dire: «Voici la vue de la pyramide du Louvre. Est-ce que cet objet-ci est le même que celui-là?». Pour dire oui ou non, il faut que vous fassiez une espèce de rotation mentale, non pas une rotation mentale à la Sheppard et Cooper, c'est-à-dire en comparant deux objets. Mais une véritable rotation mentale de votre corps dans l'espace. C'est-à-dire qu'il faut que vous preniez votre corps et que vous le fassiez tourner d'une certaine façon, ou bien faire tourner l'espace. Donc c'est un vrai travail de rotation mentale des relations entre

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

le corps et l'espace. Peut-on construire des paradigmes pour étudier ces manipulations mentales? Nous y travaillons avec plus ou moins de succès.

Concevoir le cerveau comme une géométrie

Prenons l'exemple d'une manip avec une chambre virtuelle faite, il y a quelques années, avec nos collègues Allemands. Dans cette chambre, on place une lampe par terre, puis on dit au sujet: «Vous voyez la lampe? La voilà de ce point de vue.» Ensuite on montre une autre photo et on dit: «Vous voyez la lampe d'un autre point de vue. Est-ce qu'elle est à la même place?». C'est donc une tâche d'identification de place (*object in place task*) en changeant le point de vue. C'est un peu compliqué, mais c'est bien le genre de tâche, écologique en quelque sorte, que nous devons faire lorsque nous devons retrouver notre chemin. Et puis, il y a une tâche de contrôle visuel. Lorsqu'on vérifie quelles sont les zones impliquées, on voit qu'un certain nombre d'aires sont activées. Comme on n'est pas là pour faire de la physiologie, je ne vais pas entrer dans le détail de la fonction de ces aires. Mais je veux simplement vous indiquer que nous essayons aujourd'hui de regarder quelles sont les aires du cerveau qui sont impliquées dans cette tâche particulière de changement de point de vue et qu'il existe de nombreux débats à ce sujet.

Il est intéressant de savoir que tout cela suppose une mise en correspondance entre ces représentations égocentrées de la déambulation dans l'espace et les représentations allocentrées comme celles que l'on sait trouver dans l'hippocampe, puisqu'on connaît la neurophysiologie de ces neurones de place. Nous cherchons donc les zones qui sont impliquées dans ces translations et éventuellement à savoir si ce type de modèle est valable.

Latéralisation et action

Le dernier exemple que je voudrais vous donner, parce qu'il a une implication un peu générale pour vous, est le problème de la latéralisation. Est-ce que les deux parties du cerveau traitent l'espace de la même façon? Nous avons des théories, par exemple (Gosling, etc.), qui disent que le cerveau droit est le cerveau des représentations globales de l'espace, (et aussi d'ailleurs des émotions), qu'il traite les aspects globaux de l'espace, alors que le cerveau gauche est le cerveau catégoriel, qui traite les détails, les aspects séquentiels, voire le langage, etc. Des débats ont lieu à ce sujet, mais l'idée générale est bien celle d'une spécialisation qui suggère une division du travail et un besoin de mise en correspondance.

Pour étudier ceci, nous créons une ville virtuelle, avec des couloirs, des places, des objets; sur chaque place, il y a un objet. Le sujet est donc déplacé dans ce monde virtuel. Nous faisons de nombreux tests. Nous avons travaillé avec les services du professeur Baulac, à l'hôpital de la Salpêtrière à Paris, sur des patients épileptiques sur lesquels on a pratiqué la résection de l'hippocampe parce que le foyer épileptique était dans l'hippocampe. Nous les promenons dans ce monde virtuel avec une tâche semi-active, parce que tous ces systèmes de traitement de l'espace, nous le savons maintenant, ne fonctionnent bien que si on explore activement. (Si vous déplacez passivement un

Conférence 2

rat ou quelqu'un dans l'espace, tous les systèmes ne fonctionnent pas bien. L'activité est fondamentale pour faire fonctionner l'ensemble des systèmes de relation avec l'espace.) Par exemple, l'ordinateur avance le sujet passivement, mais les rotations sont assurées par le sujet lui-même. On mesure la rotation avec un capteur sur la tête, et pour tourner dans le monde virtuel, il faut que le sujet tourne sur sa chaise. C'est un compromis: au moins il y a une part d'activité du sujet, de gestion corporelle, kinesthésique.

Nous avons demandé aux patients de se rappeler les objets qu'ils ont vus, c'est-à-dire les repères, un petit peu comme si je vous demandais de vous rappeler les objets que vous avez vus depuis l'entrée du musée jusqu'ici.

Nous avons trouvé que ces patients qui avaient des lésions à gauche ou à droite à l'hippocampe se souviennent très bien de la liste des objets. Mais ils ne se rappellent pas bien l'ordre dans lequel ils ont vu les objets et, surtout, l'association des objets avec des repères visuels. Notamment, les patients ayant des lésions de l'hippocampe gauche ont une difficulté notable à se rappeler les mouvements associés dans leur ordre séquentiel.

D'où la théorie que j'ai proposée avec Simon Lambrey: au cours de l'évolution, une spécialisation est apparue chez l'homme entre hippocampe gauche et droit, comme entre cortex gauche et droit. Le droit serait plutôt allocentrique, global, métrique, etc. Mais à gauche, il y aurait plus particulièrement une gestion de cet ordonnancement séquentiel du traitement des relations avec l'espace et des intégrations multisensorielles. Tout cela reste à vérifier et nous y travaillons.

Point de vue et relations sociales

Notez que tous ces problèmes de changement de points de vue, de manipulation mentale des référentiels sont importants dans les relations sociales. Si je veux essayer d'imaginer ce que vous pensez de mon exposé, je dois me mettre à votre place, j'essaie de voir Berthoz ou de penser à Berthoz de votre place. Et je pense que ce genre d'interaction sociale est en grande partie fondé sur la capacité de manipuler l'espace et de changer de point de vue, de changer de référentiel.

Nous avons étudié ces phénomènes. Par exemple, dans une manip, nous avons mis un avatar—c'est une idée d'un des étudiants, parce que ce sont les étudiants qui ont des idées brillantes—, une poupée dans la scène de la lampe. Et nous avons posé au sujet la question suivante: «Voilà, je vous fais faire cette expérience. Vous voyez l'avatar? Vous voyez la lampe? Vous voyez où est la lampe? Je vais maintenant vous montrer une image prise du point de vue de l'avatar. Vous allez donc avoir à me dire si la prochaine image que je vous montrerai a bien été prise du point de vue de l'avatar.

Nous avons trouvé que les patients qui ont des lésions hippocampiques ont du mal à faire ce genre de manipulation.

L'empathie

C'est un processus dynamique, qui exige que nous nous dédoublions. Cela revient donc à adopter un point de vue égocentré, mais après avoir fait une manipulation

Fondements cognitifs de la perception de l'espace

allocentrée. Notez que l'empathie n'est pas la sympathie. La sympathie, c'est la contagion émotionnelle. Vous pleurez, je pleure. C'est ce que fait le très jeune enfant. Il imite tout de suite, la contagion émotionnelle c'est l'imitation.

L'empathie, on n'est pas prêt de comprendre comment ça marche. Tout le monde parle maintenant de l'empathie, mais à mon avis 80 % des articles publiés sur le sujet sont des impostures, car en réalité ils parlent de la sympathie. Pour être empathique avec vous, c'est-à-dire sentir ce que vous sentez sur ce que je fais par exemple, il faut à la fois que je reste moi-même pour pouvoir éprouver cela, et il faut que je me mette à votre place. Donc, que je vois le monde de votre point de vue. Il faut que j'éprouve éventuellement l'émotion que vous éprouvez, mais aussi que je sois capable de l'inhiber. Si je vois quelqu'un ayant eu un accident de vélo et qui souffre, il ne faut pas, si je veux l'aider, que je me mette à souffrir, ce n'est pas très utile. L'empathie est donc un processus extraordinairement intéressant et difficile à expliquer de gestion de tous ces systèmes à la fois, et je pense qu'une partie d'entre eux concerne les manipulations spatiales.

Expression des émotions

Je vais passer sur l'aspect de la locomotion, mais nous travaillons actuellement sur l'expression corporelle des émotions et sur le rôle des émotions dans la perception de l'espace. Nous travaillons avec des acteurs, notamment de l'équipe de Jacques Lecoq à Paris, pour les faire naviguer, se déplacer avec quatre émotions: neutre, joie, colère, tristesse, etc. C'est un très gros travail, en relation avec l'espace. Je pense que la perception de l'espace que l'on a lorsqu'on est dans différents états émotionnels est complètement différent selon le type d'émotion. Dans la tristesse, on est égocentré, on oublie l'espace, alors que la joie, au contraire, explose l'espace. Il suffit de regarder ce qui se passe sur un terrain de football quand un but est marqué. C'est ce que j'ai appris de mes amis de l'équipe de Jacques Lecoq. Et nous travaillons actuellement sur les trajectoires, parce que, finalement, il faut absolument arriver à comprendre la relation entre l'émotion et la mise en jeu de ces différents systèmes. Au fond l'hypothèse est que, suivant l'état émotionnel, on va plus particulièrement mettre en jeu tel ou tel des systèmes dont j'ai parlé jusqu'à présent.

Je termine avec le très instructif travail de Karadimas, un anthropologue qui a bien voulu venir au Collège de France nous faire une conférence sur l'architecture de la maison commune des Miraña en Amazonie: la Maloca.

Les Miraña habitent dans un endroit géographique très particulier. La terre des Miraña a un fleuve. Ils le perçoivent comme un disque orienté d'Est en Ouest—amont-aval—comme ici à Grenoble où tous les Grenoblois ont une perception très orientée de la ville. L'Ouest est la source du fleuve, l'Est en est l'embouchure. L'architecture de la Maloca est très intéressante quand on y pense, parce qu'elle est orientée par rapport à cet espace géographique. La faîtière est une espèce de colonne vertébrale, les chevrons sont des côtes, et l'ensemble constitue une métaphore sexuée. En effet, l'architecture de la Maloca est organisée à partir d'une perception du corps. En réalité la Maloca est la résultante d'un accouplement du ciel, qui est masculinisé et de la terre, qui est féminisée. Par conséquent, l'ensemble de l'architecture de cette maison commune est à la fois inscrit

Conférence 2

dans la cosmogonie, dans la géographie et dans le corps sexué; c'est là aussi où se font des danses, c'est là où les Miraña agissent, pensent, décident, etc. C'est ce qui est fantastique, puisqu'une grande partie de mon exposé est destinée à réintégrer le corps vécu, le corps perçu et le corps en actes dans la conception des ambiances.

Voilà ce que j'avais à vous dire aujourd'hui. Merci de votre attention.