

Se repérer dans l'espace pour mémoriser : Approche neuroanatomique du lien entre la mémoire et l'espace.

Alice Gomez,

Doctorante en psychologie cognitive au Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition (LPNC), Université Pierre Mendès France (UPMF) sous la direction de Monica Baciú et Stéphane Rousset. Thèmes de recherche : Rôle du traitement de l'espace dans la mémoire épisodique : Etude comportementale et par neuroimagerie fonctionnelle cérébrale

Comment l'être humain se représente-t-il l'Espace ? Existe-t-il dans notre cerveau différentes représentations de l'espace ? Si oui, notre passé est-il représenté dans le même repère spatial que notre présent ? Notre représentation de l'espace influence-t-elle notre mémoire des événements passés ?

L'être humain fait quotidiennement appel à sa capacité à s'orienter dans l'espace, à se repérer dans l'environnement qui l'entoure. Cette capacité qui nous semble tout à fait naturelle et quasi automatique est pourtant très complexe d'un point de vue cognitif. Lorsque nous nous promenons dans une ville qui nous est inconnue, nous devons maintenir en mémoire un grand nombre d'informations pour nous permettre par exemple, de nous diriger vers un musée ou de retrouver une station de métro.

Si la capacité à se repérer dans l'espace semble a priori essentielle à chaque instant présent, on peut s'interroger sur le rôle de cette capacité dans le fonctionnement de notre mémoire. Plus particulièrement de son rôle dans ce que les psychologues appellent la « mémoire épisodique » (Tulving, 2002). Chacun d'entre nous utilise quotidiennement cette aptitude, pour apprendre, mémoriser, ou se rappeler d'événements précis de notre vie. Par exemple, lorsque nous cherchons à resituer dans le temps ou dans l'espace un événement personnel, tel qu'un voyage, ou un anniversaire... Cette capacité que nous utilisons quotidiennement est dite « épisodique » car elle porte sur des événements précis de notre vie personnelle, et qu'elle provoque un sentiment de « souvenir ».

Dans cette contribution, nous allons dans une première partie présenter brièvement les repères spatiaux utilisés pour s'orienter dans l'espace et contrôler les réponses comportementales chez l'homme. Pour chacun de ces repères spatiaux, nous tâcherons de localiser les zones du cerveau identifiées comme permettant à l'être humain d'avoir ces repères ou référentiels spatiaux. Nous tâcherons de répondre à ces questions pour mieux comprendre ce qui relie chez l'être humain la capacité à se repérer dans l'espace, et la capacité à former des souvenirs épisodiques (c'est-à-dire mémoriser un événement dans un espace et un temps propre à l'individu).

Dans une seconde partie, nous décrirons brièvement les processus cognitifs en jeu dans cette mémoire dite épisodique, en nous interrogeant sur la forme du lien qui existe entre la capacité à s'orienter dans l'espace et le fonctionnement de la mémoire épisodique.

Enfin nous tâcherons de mieux définir le lien qui existe entre la capacité à s'orienter dans l'espace et le fonctionnement de cette mémoire épisodique. Effectivement, on peut se demander si les processus de mémorisation contraignent et influencent notre représentation de l'espace du passé, ou si le traitement de l'espace effectué « online » influence le souvenir épisodique. Nous discuterons plus particulièrement des conceptualisations actuelles de la mémoire épisodique s'accordant avec l'hypothèse d'un impact des processus de mémorisation sur la représentation de l'espace.

Enfin, nous présenterons des recherches, alternatives, menées au sein du Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition qui proposent que notre capacité à mémoriser des événements personnels contextualisés (notre « mémoire épisodique ») est très intimement liée à nos représentations présentes de l'espace.

Cette contribution nous amènera à remettre en question les modèles classiques de la mémoire épisodique, en faveur des modèles alternatifs dits de la « cognition incarnée ». La cognition dite « incarnée » présuppose l'existence d'un lien inaliénable entre le traitement « sensoriel » (ou de l'interaction entre le corps et le monde) et les processus cognitifs. Autrement dit, elle présuppose l'existence d'un impact incessible du traitement sensoriel de l'espace sur notre mémoire épisodique.

Comment l'être humain se représente-t-il l'Espace ? Existe-t-il dans notre cerveau différentes représentations de l'espace ?

Pour une même capacité, celle de localiser un objet dans l'espace, les psychologues ont supposé qu'il pouvait exister plusieurs formes ou repères dans lequel l'espace environnant est traité, et ceci en fonction de la tâche à réaliser (e.g. prendre sa tasse de café sur son bureau, espace proche vs effectuer un parcours d'orientation, espace lointain). Généralement, on distingue les représentations de l'espace qui prennent comme référence le corps de l'observateur, dite "Égocentrée", et celle qui sont indépendante de la localisation de l'observateur, dite "Allocentrée". Nous distinguerons ici un troisième cadre de référence dit "Égocentré avec mise à jour automatique". Comme nous allons le voir, l'espace ne peut être représenté de la même manière et dans un même cadre de référence en fonction des tâches à réaliser (e.g. s'orienter dans le noir vs s'orienter dans un jeu de réalité virtuelle purement visuelle) ou de l'échelle de l'espace à traiter (e.g. l'objet se situe dans un environnement proche ou lointain).

Le Référentiel Égocentré

Pour attraper son stylo sur la table, par exemple, il semble utile que l'objet de localiser l'objet par rapport à un cadre de référence propre, centré sur soi ou sur certaines parties de son corps. Placer l'objet dans un repère centré sur soi permettra d'indiquer directement leurs buts aux effecteurs musculaires, sans avoir à effectuer de changement de repères. Ces représentations de l'espace dites égocentrées proviennent effectivement directement des systèmes perceptifs et sont utilisées par les systèmes effecteurs impliqués dans l'action (par exemple l'effecteur musculaire dans notre exemple sera le bras). On suppose qu'un ensemble de transformations sont réalisées pour obtenir à partir de l'image rétinienne, une représentation de la localisation d'un objet en référence au corps. Ces transformations vont s'appuyer sur des informations extraites des récepteurs sensoriels tel que la position de l'œil dans son orbite ou de la tête par rapport au tronc. Ce repère spatial suppose que l'ensemble des localisations sont encodés, en terme de direction et de distance à l'observateur. La proposition de l'existence d'un tel cadre de référence égocentré repose sur l'observation de patients cérébro-lésés souffrant d'une désorientation dite « égocentrée ». En effet, ces patients ont des difficultés à se représenter la localisation des objets par rapport à eux, en l'absence d'autres troubles du traitement de l'espace. Ils souffrent d'une lésion unilatérale droite ou bilatérale, du lobe pariétal postérieur, impliquant généralement le lobule pariétal supérieur. Ce serait donc le cortex pariétal, connu pour son rôle dans les processus spatiaux de courtes durées, et portant sur l'environnement proche du corps du sujet, qui permettrait l'utilisation de ce type de représentation, notamment pour l'action. Cette représentation égocentrée a néanmoins un gros désavantage puisqu'elle est par définition centrée sur la position de l'observateur. Elle est donc rigide et ne peut supporter un déplacement de l'observateur dans l'environnement. Ceci limite nécessairement son utilisation dans des environnements de grandes dimensions. Cette réflexion a conduit à proposer un second système d'orientation spatial alternatif au précédent, plus flexible et basé sur l'utilisation de représentations de l'environnement, indépendante de la position de l'observateur.

Le Référentiel Allocentré

Afin de rendre compte de notre capacité à localiser un lieu tel qu'une gare depuis une position lointaine dans la ville tel qu'un campus universitaire, c'est-à-dire dans un espace assez large pour ne pas pouvoir être entièrement traité en l'absence de déplacement de l'observateur, les psychologues ont proposé l'existence d'un cadre de référence dit "Allocentré". Cette représentation de l'espace est indépendante de la position de l'observateur. Elle permet de définir la relation directe entre chacun des objets de l'espace. Les distances et directions ne sont plus définies par rapport à la position de l'observateur comme précédemment mais sont centrées sur l'environnement lui-même. Les angles et les distances entre les indices sont donc directement accessibles. Ces représentations spatiales sont souvent apparentées à des cartes cognitives de l'environnement et représentées par un survol mental de l'environnement. La représentation allocentrée est de nature flexible, puisque la localisation d'objet dans un référentiel allocentré ne change pas lorsque le sujet se déplace dans l'environnement. Ce type de représentation spatiale nécessite une certaine expérience préalable avec l'environnement, pour permettre à l'individu de former une représentation indépendante de l'observateur. On suppose que ce type de représentation est secondaire et moins directe que la représentation égocentrée. D'un point de vue cérébral, il existe des patients souffrant de lésion du cortex Cingulaire postérieur qui ne démontrent pas de désorientation de type égocentrée mais souffrent pourtant d'une incapacité à extraire une information directionnelle à partir d'indices perceptifs connus. Ils auraient ainsi perdu la capacité à extraire une information de direction allocentrée. De plus, au sein du Lobe temporal médian (et notamment dans l'hippocampe), différents types de cellules ont été enregistrés, chacune de ces cellules possédant des caractéristiques spatiales plus ou moins importantes. En 1971, les chercheurs britanniques O'Keefe et Dostrovsky ont été les premiers à enregistrer, dans l'hippocampe dorsal du rat, les neurones probablement les plus caractéristiques impliqués dans le traitement des informations spatiales, « les cellules de lieux ». L'implication de l'hippocampe dans les processus liés au traitement de l'espace a obtenu grâce à ces cellules un support neuronal de choix. Ces cellules sont actives spécifiquement dès que la tête du rat pénètre dans une région précise de l'environnement. L'activité des « cellules de lieu » est ainsi supposée représenter la localisation où l'animal pense se

trouver. C'est à partir de ces corrélats anatomiques enregistrés essentiellement chez le rongeur et chez le primate, que l'on a supposé l'existence d'une carte cognitive allocentrée au sein de l'hippocampe. Plus récemment, des recherches en Imagerie par résonance Magnétique fonctionnelle (Ghaem et al., 1997; Maguire, 1997; Maguire, Nannery, & Spiers, 2006; Mellet et al., 2000) et neuropsychologique (Burgess, 2006; Holdstock et al., 2000; Hort et al., 2007; King et al., 2002; Spiers, Burgess, Hartley et al., 2001; Spiers, Burgess, Maguire et al., 2001) ont tentées d'impliquer cette structure dans un traitement de l'espace purement allocentré. Cependant, l'implication de cette structure dans des processus purement allocentrique demeure questionable étant donné les tâches comportementales utilisées pour évaluer l'implication de l'hippocampe. Parmi celles-ci, des études ont spécifiquement tentés de mettre en évidence des preuves d'une construction d'une carte cognitive allocentrée dans l'hippocampe humain par l'étude de patients hippocampolésés. L'étude de Holdstock et collaborateurs (2000) a été précisément mise au point dans le but d'obtenir des mesures de la mémoire égocentrée et de la mémoire allocentrée chez des sujets sains et chez un sujet atteint d'une lésion bi-hippocampique. La patiente lésée ainsi que d'autres participants devaient indiquer la position d'une diode lumineuse qui venait de leur être présenté sur un tableau noir. La tâche était modifiée afin d'encourager les participants soit à utiliser un référentiel allocentré soit à utiliser un référentiel égocentrée. Pour la tâche allocentré, le participant se déplaçait autour de la table avant d'indiquer la localisation de la diode ; Pour la tâche égocentré, le participant voyait la diode lumineuse et indiquait sa localisation dans le noir, sans se déplacer. Les résultats indiquent un déficit de la patiente lésée dans la condition allocentré uniquement. Son rappel de l'information spatiale égocentrée n'est pas significativement déficitaire. Les auteurs interprètent ces résultats en supposant que la patiente ne parvient pas à construire une représentation allocentrée, mais que la représentation égocentrée n'est pas déficitaire. Cependant, il est possible que le déficit de la patiente se situe au niveau d'un processus particulier permettant la formation d'une réponse allocentrée, tel qu'un déficit dans « l'intégration de son trajet ». En effet, entre la tâche égocentrée et la tâche allocentrée la patiente a effectué un trajet, qui constitue une information préalable à la formation d'une carte cognitive. L'expérience oppose une tâche d'appariement visuel depuis un point de vue fixe centré sur l'observateur et une tâche comprenant une rotation du point de vue de l'observateur entre l'encodage et le test. Hors la condition supposée allocentrée peut être résolu soit en utilisant un traitement de l'espace allocentrée soit en passant par l'utilisation d'une autre forme de référentiel, le référentiel « égocentrée avec mise à jour automatique ».

Le Référentiel Egocentré avec mise à jour automatique

Lorsque l'on doit revenir sur ses pas dans une nouvelle ville inconnue, il semble peu probable qu'un individu puisse former une carte cognitive allocentré de l'environnement, alors même qu'il n'a pas eu la possibilité de se familiariser à l'environnement. La capacité à former une représentation de type allocentrée ou carte cognitive nécessite en effet, que le sujet ait acquis une bonne connaissance de l'environnement. Pour ce type de tâche, il semble donc nécessaire de postuler l'existence d'une troisième représentation de l'espace permettant de traiter de grands espaces malgré une faible connaissance de l'environnement. On suppose donc que cette représentation est centrée sur l'observateur, caractéristiques du référentiel égocentrée, cependant, elle n'est pas rigide puisqu'elle est mise à jour de manière automatique par le système lorsque le sujet se déplace. Il s'agit donc d'une représentation égocentrée dynamique et non plus statique, comme les représentations précédente. Dans ce type de représentation, l'ensemble des informations de distance, d'angles de rotation, ou d'indices caractéristiques du trajet, est défini dans un cadre égocentré. Ces représentations proviennent directement des systèmes perceptifs et sont nécessaires aux systèmes effecteurs impliqués dans l'action pour localiser efficacement un objet. Ce mécanisme de mise à jour automatique du référentiel égocentré repose probablement sur le mécanisme d'intégration de trajet (*Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980*). Ce mécanisme cognitif de base repose sur deux types d'informations produites par l'ensemble des entrées sensorielles : les informations qui reposent sur son propre mouvement, et les informations qui renseignent sur la position des différents indices dans l'environnement (sa position y étant comprise). Cette capacité est supposée reposer sur des calculs itératifs de mise à jour de la position du corps dans l'environnement pendant le déplacement. Cependant, afin de limiter de potentiels accumulations d'erreurs de calculs sur le long terme, on suppose que ce repère pourrait à long terme intégrer des informations provenant du cadre de référence allocentré. Cette mise à jour automatique du référentiel égocentré lorsque le sujet se déplace dans l'environnement, a été mise en évidence comportementalement par Farrell et Robertson (1998). Dans cette expérience, les participants avaient pour tâches de pointer une cible fixe après s'être déplacé, on évalue le temps de pris pour pointer la cible en fonction des conditions. Dans la première condition dite « de mise à jour », ils devaient mettre à jour leur position relative à la cible pendant le déplacement. Dans la seconde condition dite « de non mise à jour », les participants avaient pour instruction d'ignorer leur déplacement et d'imaginer qu'ils se trouvaient toujours dans leur position originale. Dans la condition « de mise à jour », les temps de réponse étaient légèrement affectés par l'amplitude des rotations. Par contre, dans la condition de « non mis à jour », les temps de réponses augmentaient beaucoup lorsque l'angle de rotation entre la position originale et la position finale augmentait, ceci suggère que dans cette condition les participants mettaient automatiquement à jour leur position dans l'espace puis «

défaisaient » cette mise à jour pour mentalement rétablir leur position originale. Cette étude indique que le repère égocentré d'un individu est mis à jour de manière automatique lorsqu'une personne se déplace. Ainsi ce repère est toujours orienté par rapport à l'actuelle position du sujet. La localisation neuronale de ce repère spatial reste hypothétique, cependant il est fort possible que les cellules de lieux de l'hippocampe et le cortex pariétal soit également impliqués dans son fonctionnement. Certaines études ont mis en évidence chez des patients cérébro-lésés une implication du lobe temporal médian dans le processus d'intégration de trajet (Philbeck, Behrmann, Levy, Potolicchio, & Caputy, 2004; Worsley et al., 2001). L'hippocampe et les structures associés constitueraient, en effet, un des substrats neuronaux primordial au processus d'intégration de trajet. En effet, certaines expérimentations conduisent à penser que la représentation neuronale de l'espace dans l'hippocampe est fortement influencée par les informations concernant le mouvement de soi, et que l'hippocampe aurait un rôle majeur dans les processus de mise à jour (e.g. la navigation) (Whishaw, McKenna & Maaswinkel, 1997). Par exemple, ces cellules de lieux peuvent mettre à jour leurs activations en ne se basant que sur les indices de mouvements (Jeffery, Donnett, Burgess, & O'Keefe, 1997). Ceci suggère effectivement que l'hippocampe pourrait contenir une composante majeure du substrat neuronal du système d'intégration de trajet.

Notre représentation de l'espace en mémoire est elle impacté par le processus de mémorisation ? Nos « souvenirs » sont ils modulés par notre traitement de l'espace?

Comme nous venons de le voir, l'utilisation préférentielle d'une représentation de l'espace semble modulée par la tâche à accomplir. Dans ce contexte, on peut se demander si la mémorisation d'un événement module également la forme de représentation de l'espace dans notre cerveau, ou si au contraire c'est la représentation de l'espace durant la mémorisation qui va contraindre notre mémorisation. Nous allons donc nous poser les questions suivantes: Est-ce notre représentation de l'espace qui est impacté par la tâche de mémorisation ? Ou bien, est-ce au contraire nos « souvenirs » qui sont modulés par notre traitement de l'espace lors de la mémorisation ?

La mémoire Episodique

La mémoire épisodique est classiquement définie comme la mémoire d'événements personnels localisés dans le temps et dans l'espace. Cette mémoire qui est conservée à long terme est autobiographique (c'est-à-dire qu'elle porte sur des informations vécus par l'individu). Elle est a distinguée d'une autre forme de mémoire dite sémantique qui porte sur des connaissances plus générales sur le monde, comme la capacité à se rappeler le nombre de départements français. C'est cette mémoire dite « épisodique » qui est dégradée dans les maladies neurodégénératives tels que la maladie d'Alzheimer ou dans les troubles amnésiques. Tulving (2002) définit la mémoire épisodique comme reposant sur trois concepts : le sentiment de soi, par lequel un individu a la possibilité de différencier la récupération d'une expérience personnelle et le rappel de fait impersonnel, la conscience autonœtique, car il implique une prise de conscience de l'objet et du sujet propre en tant qu'il perçoit, et la sensation subjective du temps, qui replace le souvenir dans l'espace et le temps. La mémoire épisodique est de plus, l'unique forme de mémoire qui, au moment de la récupération, est orientée vers le passé. La récupération en mémoire épisodique correspond à un « voyage mental dans le temps » à travers son propre passé. Toutes les autres formes de mémoire sont orientées vers le présent au moment de la récupération. Il propose que la mémoire épisodique constituerait une capacité à se représenter mentalement et à prendre conscience de son passé, présent, ou futur. Cette description théorique de la mémoire épisodique permet de percevoir la complexité de ce processus cognitif. Cette complexité implique la contribution d'un réseau de structures cérébrales largement distribué ayant pour épiceutre le lobe temporal médian. L'analyse de patients souffrant d'amnésie hippocampique, est à l'origine de l'implication de cette structure dans la mémoire épisodique. L'observation plus récente des zones d'activation cérébrales par la neuroimagerie fonctionnelle a permis d'impliquer un réseau plus large comprenant outre le lobe temporal médian, le néocortex postérieur, ainsi que les jonctions fronto-temporales. Certaines études récentes impliquent spécifiquement le lobe pariétal dans la mémoire épisodique, sans avoir jusqu'ici réussi à clarifier le rôle de cette région.

Les processus de mémorisation influence-t-il notre représentation de l'espace du passé ?

Les conceptions théoriques classiques de la mémoire épisodique ont généralement supposé que notre représentation de l'espace était contrainte par la tâche de mémorisation. En effet, le référentiel égocentré, utilisé pour percevoir un événement au temps présent, a été rapidement supposé inadapté pour prendre en charge des processus de mémorisation. En effet, comme nous l'avons vu précédemment le référentiel égocentré est rigide. La rigidité de cette représentation face aux mouvements du sujet pose problème. En général, le sujet effectue un déplacement entre le moment où l'événement est vécu et le moment où l'individu cherche à se rappeler l'événement, ce qui pose problème dans le cadre d'un référentiel égocentré.

La théorie de la carte cognitive proposée par O'Keefe et Nadel (1978) est la première hypothèse de l'existence d'un lien, chez l'homme entre la mémoire épisodique et les fonctions spatiales de l'hippocampe. Cette théorie permet de décrire le fonctionnement de la mémoire épisodique, en lien avec son substrat anatomique. Les auteurs supposent qu'une représentation allocentrée de l'espace est utile pour conserver les souvenirs. En effet, les différents éléments d'une expérience sont divisés pour être stockés, puis sont réunis lors de la récupération d'un événement. Selon ce modèle, les éléments non spatiaux d'un épisode seraient stockés au niveau du néocortex sous forme sémantisé (i.e. concept) et spécifique à la modalité d'entrée (visuelle, auditif...). La représentation spatiale allocentrée stockée dans l'hippocampe permettrait de relier les différents éléments non spatiaux représentés, et stockés au niveau du cortex.

Cependant, ce modèle peine à rendre compte du fait qu'un souvenir est vécu puis revécu depuis un point de vue égocentré. En effet, notre « perception » d'un événement est par définition ancrée dans notre corps et liée à notre sensorialité. Un autre modèle, celui de Burgess (2002) permet de résoudre ce problème en liant les fonctions spatiales et mnésiques de l'hippocampe et en conservant la notion de carte cognitive. Pour cela, il suppose que le rôle de l'hippocampe dans la récupération épisodique est dû à la capacité de l'hippocampe à transformer un référentiel égocentré en un référentiel allocentré (Voir Figure 1).

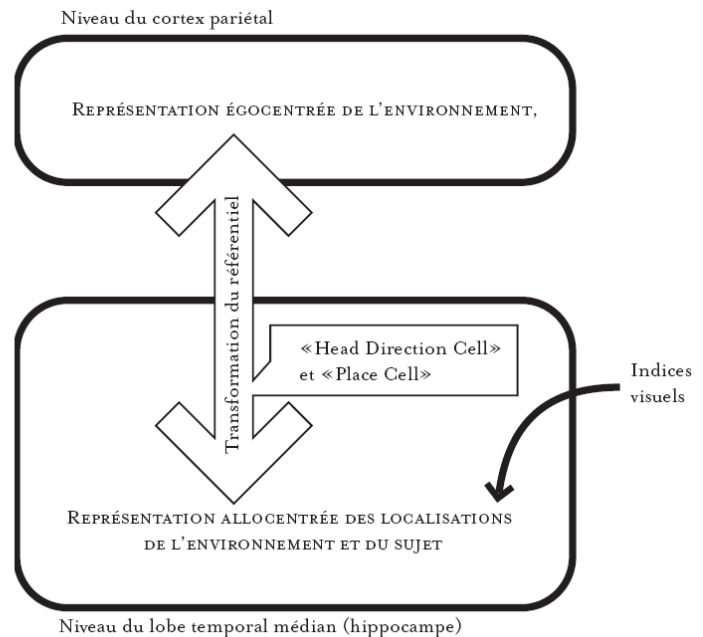


Figure 1: Modèle du fonctionnement conjoint de la mémoire épisodique et du traitement spatial.

Au niveau du cortex pariétal, l'espace est encodé sous forme égocentrée. Pour être conservée à long terme, l'événement est transformé en une représentation allocentrée, indépendante du point de vue. Lors de la récupération l'opération inverse est effectuée, et le label « self-related » est attribué au souvenir.

D'après (Burgess, 2002).

Ces modèles ont une appuie théorique reconnue puisqu'ils se basent sur l'observation comportementale de patients amnésiques (souffrant de lésions bi-hippocampiques). En effet, l'équipe de Burgess a mis en évidence un déficit conjoint de la mémoire épisodique et du traitement de l'espace allocentré (Burgess, Maguire, & O'Keefe, 2002; Holdstock et al., 2000; King, Burgess, Hartley, Vargha-Khadem, & O'Keefe, 2002), sans trouble égocentré. Ces résultats suggèrent donc que la formation d'un souvenir dépend d'une représentation allocentrée et non égocentrée. Néanmoins, ce trouble de l'espace allocentré observé chez les patients amnésiques peut être interprété de manière alternative comme reflétant un trouble du référentiel « Egocentré avec mise à jour automatique ».

Le traitement de l'espace effectué « on-line » influence le souvenir épisodique

Pour savoir si effectivement la mémoire épisodique était dépendante d'un référentiel allocentré, au Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, nous avons essayé de comparer l'utilisation de ce référentiel à l'utilisation d'un référentiel « Egocentré avec mise à jour automatique ». Nous avons voulu évaluer si l'utilisation d'un référentiel allocentré durant l'encodage d'un événement avait une influence différente d'un encodage « égocentré avec mise à jour automatique » durant l'encodage de l'événement. Concrètement, les participants mémoriser des mots alors qu'ils réalisaient en parallèle des tâches spatiales (soit Allocentré soit égocentré avec mise à jour automatique). Le fait de répondre à une tâche spatiale Allocentrée favoriser l'utilisation de ce référentiel cognitif, et le fait de répondre à une tâche spatiale égocentrée avec mise à jour automatique favoriser l'utilisation de ce référentiel cognitif. Ainsi, pour ce faire, la moitié des mots ont été appris dans une condition spatiale allocentrée, l'autre moitié dans une condition égocentrée avec mise à jour automatique.

Chaque tâche comportait quatre phases: Une présentation d'un film pendant 20s, la présentation du mot à mémoriser, le test spatial, et le rappel du mot. Le film correspondait à la présentation d'une pièce contenant quelques objets dont l'emplacement devait être mémoriser. Le test spatial correspondait à un pointage en direction d'un objet à l'aide d'un joystick. Dans la condition « allocentrée », la pièce était présentée comme une carte, c'est-à-dire en survol, afin de

rendre la représentation spatiales indépendante de la position de l'observateur. Dans la condition « égocentrée avec mise à jour automatique », la pièce était présentée depuis un point de vue subjectif interne à la pièce, afin de favoriser une représentation spatiale égocentrée. Les deux films étaient dynamiques. Dans la condition « allocentrée », la caméra se déplaçait au dessus de la pièce. Dans la condition « égocentrée avec mise à jour automatique », la caméra se déplaçait avec l'observateur, obligeant une mise à jour dynamique. Six heures après l'apprentissage des mots, chaque individu était amené à réaliser un test de reconnaissance des mots pour évaluer leur mémoire épisodique de l'épisode d'apprentissage. Pour ce test, on présente l'ensemble des mots appris, ainsi qu'une quantité identique de mots nouveaux. Pour chaque mot présenté le sujet doit indiquer s'il se souvient avoir appris le mot précédemment. Ce test est réalisé à l'intérieur d'un IRM (3T Bruker) et permet d'acquérir des images de l'activité fonctionnelle du sujet pendant la réalisation de la tâche.

L'analyse de l'activité du sujet nous permet de comparer les zones cérébrales activées par la tâche de mémoire. Ici, nous souhaitons observer s'il existait une différence au niveau neuronale entre un mot appris en favorisant un encodage « Allocentré » et un mot appris en favorisant un encodage « égocentrée avec mise à jour automatique ». Nos résultats indiquent que la tâche de mémorisation active l'Hippocampe et les zones parahippocampiques bilatéralement, le gyrus cingulaire, le précunéus et le cunéus bilatéralement, le lobule pariétal inférieur gauche, ainsi que le cortex frontal. Ces résultats sont en accord avec les connaissances actuelles sur le fonctionnement de la mémoire et répliquent les activations cérébrales impliqués dans la mémoire épisodique. Plus particulièrement, nous observons des activations supplémentaires pour les mots ayant été appris dans la condition « égocentrée avec mise à jour automatique ». Cette condition semble activé plus particulièrement, le lobule pariétal inférieur bilatéralement, le Gyrus frontal moyen gauche, et le cunéus, précunéus gauche. Il semblerait donc que nos souvenirs soient modulés par le référentiel spatial utilisé durant l'apprentissage. Ces résultats ne sont pas contradictoires avec les modèles de Burgess et Nadel présentés précédemment. Cependant, ils offrent une perspective différente sur la relation existant entre le traitement spatial et la mémoire épisodique.

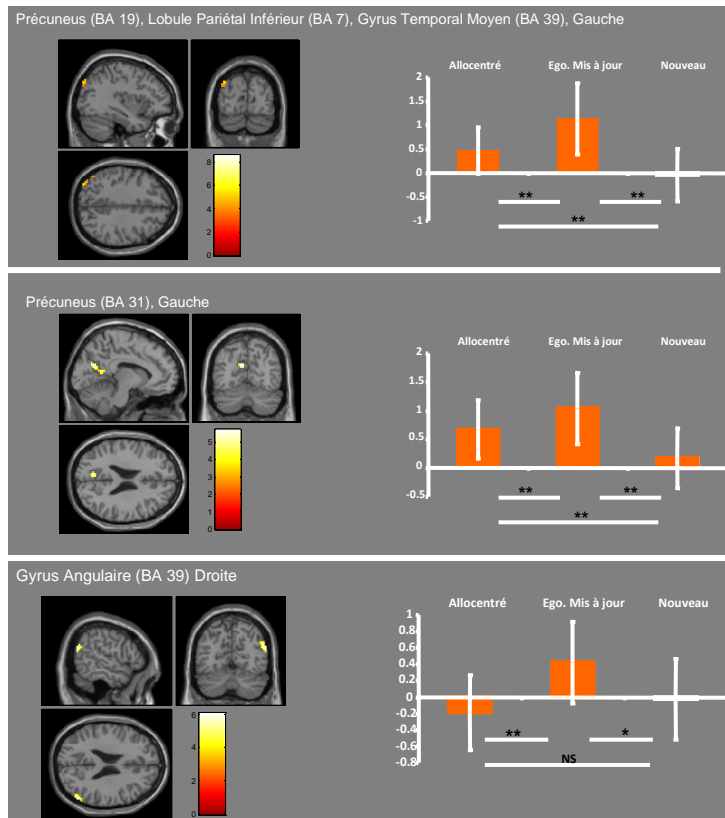


Figure 2 : Régions d'intérêts extrait de l'analyse de groupe: Precunéus (BA 19), Lobule pariétal Inférieur Droit (BA 7), Gyrus Temporal Moyen (BA 39), gauche; Precunéus gauche (BA 31); Gyrus Angulaire gauche (BA 31). Les activations sont projetées sur des coupes anatomiques 2D représentées dans les conventions neurologiques (la gauche à gauche). Sur la droite sont représentés les variations d'activations en fonction du type de mot présenté en reconnaissance (Axe des Y : % de changement de signal en fonction de la condition, « Allocentré », «Ego. Mis à jour », «Nouveau». ** $p < .01$; * $p < .05$, $k=10$.

La cognition incarnée

Les modèles de psychologie cognitive proposent de conceptualiser comment notre cerveau traite les informations dans des processus variés tels que le langage, le traitement de l'espace, la mémoire, l'intelligence, la formation des concepts...

Un postulat classique de ces modèles suppose que pour traiter un objet, notre cerveau forme des représentations mentales de ces objets. Par exemple, lorsque l'on présente l'objet « brosse à dent », le cerveau va activer la représentation correspondant à celle-ci, pour pouvoir ensuite effectuer diverses opérations (identification, catégorisation, mémorisation, prononciation...) sur cette représentation.

Classiquement, nos représentations sont supposées être symboliques, et le lien entre le représentant et le représenté serait arbitraire. Autrement dit, la brosse à dents du monde réel est représentée dans notre cerveau par un symbole quelconque, et ce symbole est indépendant de la situation ou manière dans laquelle nous percevons ou interagissons avec cette brosse à dent. Ce présupposé soulève le problème de l'origine du sens de ces symboles pour notre fonctionnement.

A contrario, il existe des modèles de la cognition dite « incarnée » qui proposent que nos représentations ne soient pas purement symboliques mais soient forgées sur notre système perceptif. Les objets du monde seraient construits activement évoluant en fonction de nos perceptions et de nos actions sur l'objet. Dans le cas, de la brosse à dents, notre représentation serait liée à l'activation cérébrale résultant de la perception de cette brosse à dents, mais également de l'activation cérébrale liée aux actions possibles avec cet objet (par exemple, se brosser les dents, ou nettoyer une surface en la frottant). En conséquence, la représentation émergerait directement de l'interaction entre le monde et le corps.

L'étude réalisée en imagerie fonctionnelle au sein du LPNC s'intègre parfaitement dans un cadre de référence incarnée de la cognition. En effet, cette étude indique que nos souvenirs semblent modulés par notre perception de l'espace, notre action sur l'espace. La plupart des études expérimentales testant le paradigme de la cognition incarnée l'applique au langage (sémantique, catégorisation...). Notre étude s'intéresse quant à elle aux systèmes de mémorisation et au traitement de l'espace. Elle permet ainsi d'élargir au traitement de l'espace et à la mémorisation le domaine de validité de la cognition incarnée.

REFERENCES

- Burgess, N. (2002). The hippocampus, space, and viewpoints in episodic memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 1057-1080.
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625-641.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental Rotation and the Automatic Updating of Body-centered Spatial Relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(1), 227-233.
- Ghaem, O., Mellet, E., Crivello, F., Tzourio, N., Mazoyer, B., Berthoz, A., & Denis, M. (1997). Mental navigation along memorized routes activates the hippocampus, precuneus, and insula. *Neuroreport*, 8(3), 739-744.
- Holdstock, J. S., Mayes, A. R., Cezayirli, E., Isaac, C. L., Aggleton, J. P., & Roberts, N. (2000). A comparison of egocentric and allocentric spatial memory in a patient with selective hippocampal damage. *Neuropsychologia*, 38(4), 410-425.
- Jeffery, K. J., Donnett, J. G., Burgess, N., & O'Keefe, J. M. (1997). Directional control of hippocampal place fields. *Exp Brain Res*, 117(1), 131-142.
- King, J. A., Burgess, N., Hartley, T., Vargha-Khadem, F., & O'Keefe, J. (2002). Human hippocampus and viewpoint dependence in spatial memory. *Hippocampus*, 12(6), 811-820.
- Maguire, E. A. (1997). Hippocampal involvement in human topographical memory: evidence from functional imaging. *Philosophical Transcript of the Royal Society*, 352(1360), 1475-1480.
- Maguire, E. A., Nannery, R., & Spiers, H. J. (2006). Navigation around London by a taxi driver with bilateral hippocampal lesions. *Brain*, 129(Pt 11), 2894-2907.
- Mellet, E., Briscogne, S., Tzourio-Mazoyer, N., Ghaem, O., Petit, L., Zago, L., Etard, O., Berthoz, A., Mazoyer, B., & Denis, M. (2000). Neural correlates of topographic mental exploration: the impact of route versus survey perspective learning. *Neuroimage*, 12(5), 588-600.
- Mittelstaedt, M. L., & Mittelstaedt, H. (1980). Homing by path integration in a mammal. *Naturwiss*, 67, 566-567.
- O'Keefe, J., & Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Research*, 34(1), 171-175.
- Philbeck, J. W., Behrmann, M., Levy, L., Potolicchio, S. J., & Caputy, A. J. (2004). Path integration deficits during linear locomotion after human medial temporal lobectomy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(4), 510-520.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53, 1-25.
- Worsley, C. L., Recce, M., Spiers, H. J., Marley, J., Polkey, C. E., & Morris, R. G. (2001). Path integration following temporal lobectomy in humans. *Neuropsychologia*, 39(5), 452-464.