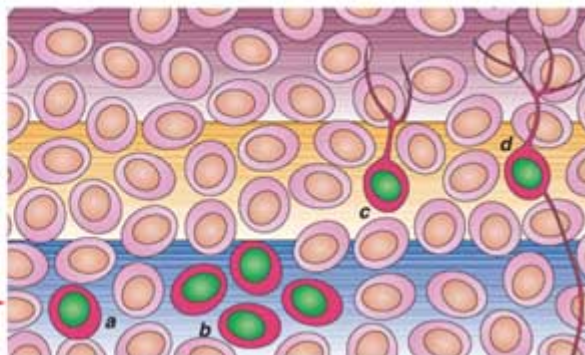
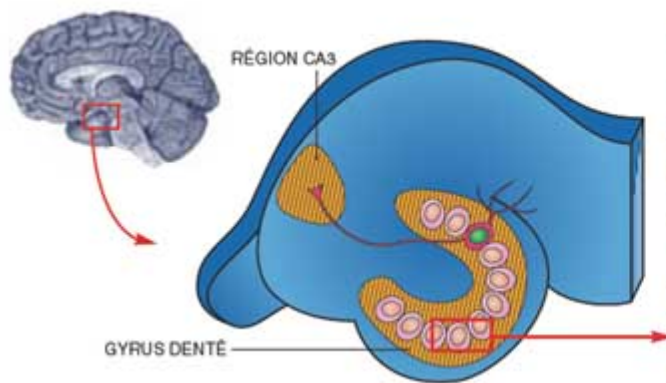




7. L'HIPPOCAMPE, et notamment le gyrus denté (à gauche), est le siège d'une neurogenèse intense (à droite) : dans la région sous-granulaire (en bleu), des cellules souches (en rouge et en vert) enfouies (a) prolifèrent et deviennent des cellules progénitrices (b). Ces dernières migrent vers la région granulaire (en orange) où elles se différencient (c) en neurones. Les dendrites de ces neu-

rones (d) «plongent» dans la couche dite moléculaire (en violet), tandis que leur axone s'allonge vers une région de l'hippocampe nommée CA3 où ils établissent des contacts synaptiques avec d'autres neurones, les cellules pyramidales, afin de constituer un réseau indispensable à la mémoire. Ces processus de neurogenèse sont perturbés chez les individus déprimés.

établissent des contacts synaptiques avec d'autres neurones de l'hippocampe, les cellules pyramidales de la région CA3, afin de constituer un réseau qui participe aux processus mnésiques. En d'autres termes, les capacités mnésiques et les fonctions cognitives dépendraient de cette plasticité physiologique de l'hippocampe.

Des neurones granulaires dépressifs

Que devient la prolifération des cellules granulaires hippocampiques, d'une part, dans les conditions de stress et, d'autre part, après des traitements antidépresseurs ? Toutes les études montrent que les situations expérimentales conduisant à la résignation entraînent une nette diminution de ce phénomène. À l'inverse, les traitements antidépresseurs, ainsi qu'un environnement motivant associé à un exercice physique modéré, dont on vante les vertus antidépressives, l'augmentent.

Chez les animaux résignés et efficacement traités par des antidépresseurs, la récupération des déficits comportementaux s'accompagne du recouvrement des capacités de prolifération des cellules granulaires dans l'hippocampe. *A contrario*, l'exposition à des situations stressantes, l'accoutumance à l'alcool, à la morphine, par exemple, sont associées à une réduction de la prolifération de ces cellules. Cette corrélation mettrait au jour un lien causal entre la neurogenèse dans l'hippocampe, certains facteurs de croissance, en particulier le BDNF, la dépression et l'efficacité thérapeutique des antidépresseurs.

Toutefois, si bien des résultats confirment ce lien, d'autres obligent à la prudence. Ainsi, Julie Blendy et ses collègues de l'Université de Pennsylvanie ont étudié des souris *knock-out* dépourvues du facteur de transcription CREB, normalement activé par l'AMP-cyclique, une molécule qui favorise l'action des antidépresseurs dans l'hippocampe. Ils ont montré que ces médicaments sont toujours capables de réduire les déficits comportementaux et de rétablir le rétrocontrôle de l'axe HHA chez ces animaux dans des conditions de stress, alors qu'ils n'augmentent plus l'expression du facteur BDNF pourtant nécessaire à la prolifération des cellules granulaires dans l'hippocampe.

Beaucoup de questions restent encore ouvertes. Toutefois, le consensus se fait autour du modèle selon lequel,

chez le déprimé, la mort cellulaire associée à une baisse de la prolifération des neurones granulaires dans l'hippocampe, résultant sans doute de l'hypersécrétion de cortisol, expliquerait les déficits cognitifs et les perturbations comportementales. L'évaluation des capacités mnésiques, qui relèvent du fonctionnement de l'hippocampe, montre chez les individus dépressifs des altérations majeures de la psychomotricité et des troubles de la conscience, notamment de l'attention et de la concentration. Ces déficits sont particulièrement marqués lorsque les individus sont confrontés à des tâches complexes dont le traitement fait appel davantage à l'encodage sémantique qu'à l'encodage phonologique des traces mnésiques. Il en résulte des troubles de l'anticipation et des fonctions exécutives, au point que l'individu prend difficilement une décision. Les antidépresseurs réduiraient ces déficits grâce au rétablissement du fonctionnement normal de l'axe HHA, et à une stimulation de la production des cellules granulaires. Il ne s'agit bien sûr que d'une étape vers une meilleure compréhension de la biologie de la dépression et des troubles cognitifs associés. D'autres composantes sont à prendre en compte, par exemple, les relations entre le système nerveux et certains acteurs du système immunitaire, telles les cytokines, qui jouent un rôle dans la prolifération cellulaire et dans les désordres biologiques associés à la maladie.

Michel HAMON dirige l'Unité 288 de l'INSERM, Neuropsychopharmacologie moléculaire, cellulaire et fonctionnelle, à la Faculté de médecine Pitié-Salpêtrière, à Paris.

C. NEMEROFF, *Psychopharmacology of affective disorders in the 21st century*, in *Biological Psychiatry*, vol. 44, pp. 517-525, 1998.

R. DUMAN et al., *Regulation of adult neurogenesis by antidepressant treatment*, in *Neuropsychopharmacology*, vol. 25, pp. 836-844, 2001.

R. SAPOLSKY, *The possibility of neurotoxicity in the hippocampus in major depression : A primer on neuron death*, in *Biological Psychiatry*, vol. 48, pp. 755-765, 2001.

J. MIGUEL-HIDALGO et G. RAJKOWSKA, *Morphological brain changes in depression*, in *CNS Drugs*, vol. 16, pp. 361-372, 2002.

E. NESTLER et al., *Neurobiology of depression*, in *Neuron*, vol. 34, pp. 13-25, 2002.

Réalité virtuelle : un défi pour la conscience

ISABELLE VIAUD-DELMON • ROLAND JOUVENT

L'immersion dans un monde virtuel impose l'inhibition des informations sensorielles provenant de l'environnement réel, parfois contradictoires avec les données virtuelles. Cette adaptation sensorielle persiste quand on retourne dans le monde réel. La réalité virtuelle ne risque-t-elle pas d'engendrer des troubles de la conscience chez les personnes dont les repères sont fragiles ?

« **L**a Réalité est ce qui ne disparaît pas lorsqu'on cesse d'y croire », soutenait le romancier Philip K. Dick. Le succès d'expériences de réalité virtuelle laisse penser que les choses sont plus complexes. Chaussez un casque de réalité virtuelle, enfilez un gant à retour d'effort, vous plongerez dans un monde virtuel, dans lequel, après un léger malaise passager, vous pourrez n'avoir plus aucune conscience de la réalité. Et ce quand bien même vos sens vous rappellent que vous appartenez au monde réel : il fait froid dans la pièce où vous vous trouvez, vous portez un lourd casque... La magie de la réalité virtuelle réside dans cet oubli : cessez de croire à la réalité et elle disparaît.

Toutefois, cette abstraction de la réalité représente un risque. Pour adhérer au monde virtuel, le cerveau doit gérer les contradictions entre les informations qui parviennent de la scène virtuelle et les informations fournies par la scène réelle, où se trouve le sujet. Les chercheurs en psychologie expérimentale ont découvert que l'organisme est capable de s'adapter à ces conflits, parfois difficiles à gérer. Ils ont aussi constaté que les perceptions sont modifiées par la réalité virtuelle, et qu'elles le restent, même de retour dans le monde réel.

Aujourd'hui, l'usage de la réalité virtuelle tend à se développer. D'ici une dizaine d'années, les enfants auront probablement tous un casque de réalité virtuelle avec leur console de jeux. La thérapie virtuelle est également en plein essor : on traite des phobies en confrontant les malades, dans un monde virtuel, à leur objet phobique. Ce développement nécessite de s'interroger sur les dangers éventuels liés à la réalité virtuelle. Les sujets qui font de fréquentes expériences de réalité virtuelle ne risquent-ils pas de perdre leurs repères, quand ils se replongent dans la réalité ? Les frontières entre réalité virtuelle et réalité ne risquent-elles pas de s'estomper et la réalité de perdre sa consistance ? En étudiant les comportements des personnes confrontées à la réalité virtuelle, les psychologues précisent comment s'élaborent nos rapports à nous-mêmes, nos rapports au monde, c'est-à-dire notre conscience.

Les limites de la réalité virtuelle

L'enjeu de la réalité virtuelle est de reconstituer un monde fictif en trois dimensions où un individu s'immerge. L'utilisateur du dispositif de réalité virtuelle visualise ce monde généralement à l'aide d'un casque qui lui offre une vision stéréoscopique, c'est-à-dire en relief, de la scène, et agit sur cet univers par le moyen d'interfaces « sensorielles ». Ces interfaces sont des capteurs placés sur le corps destinés à situer l'utilisateur dans l'espace, ou des systèmes « à retour d'effort », dispositifs mécaniques qui réagissent en fonction de la force qu'on leur applique : un volant dans un jeu vidéo qui, en résistant au mouvement du joueur, transmet les aspérités de la route ; un gant doté d'articulations mécaniques qui, en résistant à l'avancée des doigts, fait ressentir le contact d'une matière...

Bien que très perfectionnés, ces équipements produisent pour plusieurs raisons des conflits sensoriels, des contradictions entre les informations qu'ils fournissent et celles que captent les sens. La première raison est qu'aujourd'hui, il est impossible de stimuler, en réalité virtuelle, toutes les voies sensorielles de l'organisme. Les informations olfactives et gustatives sont notamment encore sous-représentées. Si vous vous promenez en réalité virtuelle dans un paysage automnal de campagne, vous traversez des prairies sans que l'odeur de l'herbe humide, de la boue fraîche ou des champignons n'éveille votre odorat. En outre, le corps humain est équipé d'une multitude de capteurs, notamment de température et de pression, situés sur la peau, mais aussi dans les muscles, dans les articulations, sur les tendons et dans les os. Ces capteurs forment le système proprioceptif. Étant donné leur nombre, ils ne sont correctement activés qu'en conditions réelles. La réalité virtuelle sera, dans ce sens, toujours factice.

Ensuite, la puissance actuelle des ordinateurs standards limite le degré de réalisme des scènes virtuelles. En général, le sujet ne voit pas son corps dans l'environnement figuré. S'il lève un bras devant ses yeux, il ne voit aucune repré-

sensation de son bras dans le monde virtuel. De surcroît, le mouvement en réalité virtuelle est toujours un peu en retard sur le mouvement réel. Même les meilleurs systèmes ne fournissent pas de délais inférieurs à 50 millisecondes. En outre, il arrive que la vision stéréoscopique ne soit pas utilisée, auquel cas la notion de profondeur ne peut être rendue qu'à travers des images à deux dimensions. Enfin, pour des raisons techniques, il est difficile de calculer, en temps réel, le son provoqué par le déplacement du sujet dans l'environnement virtuel, et de le reproduire sans trop de retard. Le manque d'informations sonores est d'autant plus perturbant que l'ouïe prédomine dans nos prises de décisions lors d'un mouvement. Bref, les environnements virtuels manquent aujourd'hui de richesse. Si notre relation au monde repose essentiellement sur les informations visuelles, l'ensemble de nos systèmes sensoriels y contribue ; les mondes virtuels sont essentiellement des mondes visuels.

Toutefois, pour paraître réaliste, les mondes virtuels ne peuvent se contenter de reproduire les caractéristiques (l'aspect, l'odeur, le toucher, etc.) des environnements réels, ils doivent aussi se comporter comme tels. En 1973, Gunnar Johansson, de l'Université de Stockholm, a montré que nous savons reconnaître les mouvements naturels des animaux. En observant des points lumineux dans l'obscurité,

nous sommes capables de dire s'il s'agit de lumières déplacées de façon artificielle ou placées sur le corps d'un animal. Une main qui écrit, un animal qui court se déplacent de façon précise selon la «loi du mouvement biologique». Le réalisme d'une scène virtuelle repose sur le respect de cette loi. Cette règle est non seulement vraie pour d'éventuels animaux présents dans la scène, mais surtout pour la représentation du sujet lui-même. Dans un monde virtuel, le corps du sujet actif est parfois représenté sous la forme d'un avatar. Pour que le sujet s'identifie à son avatar, les mouvements doivent être parfaitement couplés aux mouvements de l'individu. Le cerveau compare en permanence les conséquences sensorielles de son action avec les prédictions sensorielles qu'il a anticipées. En l'absence de similitude entre les deux, le cerveau assimile l'avatar à autrui.

Au total, les limites de la réalité virtuelle sont de deux ordres : d'ordre technique, en particulier à cause du décalage entre les mouvements du sujet et l'affichage de l'image correspondante, et d'ordre qualitatif, car, même si l'on parvient à représenter avec précision le corps humain dans le monde virtuel, le corps virtuel ne sera qu'une ombre du corps réel. Ces limites empêchent-elles de s'imaginer dans une réalité fictive ? Non, mais elles entravent le réalisme de la reproduction. Selon leur importance, le sujet se sent plus ou



I. Viaud-Delmo, R. Jouvant / CHRS UMR 7593

1. DES DISPOSITIFS DE RÉALITÉ VIRTUELLE sont utilisés pour les recherches en neurosciences cognitives. On étudie notamment l'adaptation du cerveau à des stimuli contradictoires. Ici, on expose à un dilemme le système visuel et le système auditif de repérage dans l'espace. Le

sujet fait bouger des objets dans le monde virtuel, mais le déplacement du son qu'il entend ne correspond pas au déplacement visuel qu'il voit dans le casque. Le sujet n'a pas conscience d'être trompé, et la vue dans le casque influe sur sa perception de la provenance du son.

moins intégré à la scène. Rapidement après l'avènement des techniques de réalité virtuelle, on a tenté de mesurer le degré d'immersion par la notion de «présence». À l'origine, la présence a été définie comme l'expérience subjective d'être dans un environnement alors que l'on est physiquement dans un autre. Dans le cadre de la réalité virtuelle, une définition plus appropriée est celle du sentiment d'être dans l'environnement engendré par l'ordinateur plutôt que dans l'environnement physique local actuel.

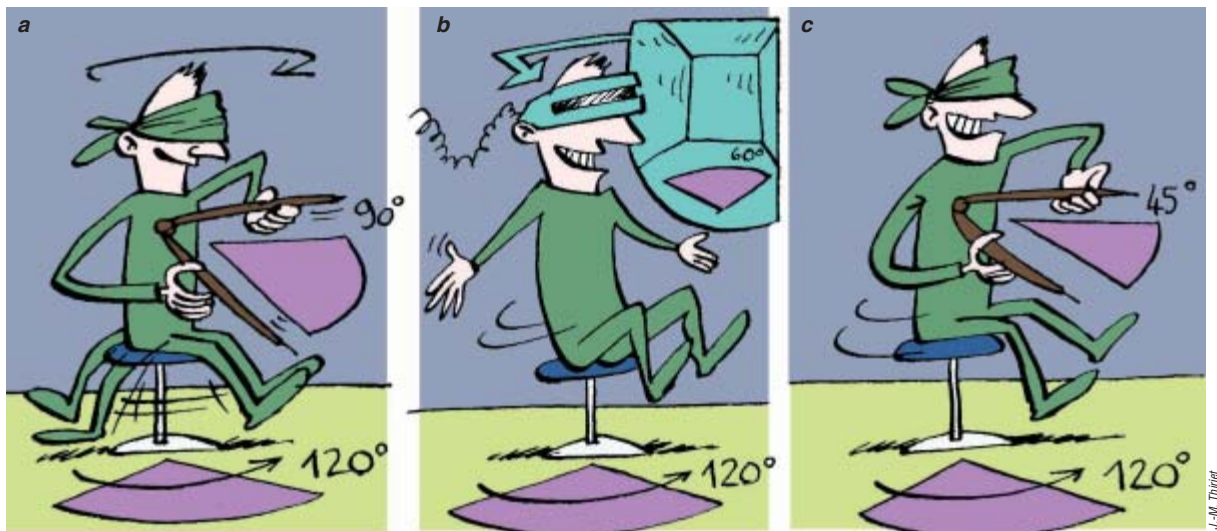
Un rappel au réel incontournable

Même lorsque la présence dans l'environnement virtuel est optimale, il n'empêche que nos appareils sensoriels nous rappellent de façon inéluctable les réalités physiques de notre environnement. En faisant participer des sujets à des expériences de réalité virtuelle, puis en les interrogeant sur le degré de présence ressenti, Bob Witmer et Michael Singer, de l'Institut de recherche de l'armée américaine pour les sciences sociales et comportementales, ont montré que le sentiment de présence est inversement lié à l'apparition de cinétose : plus le sujet a le sentiment d'appartenir au monde virtuel, moins il est malade. La cinétose est le mal des transports, dont les symptômes sont notamment la nausée, la somnolence, le mal de tête. Elle apparaît lorsque des informations différentes, voire contradictoires, parviennent aux sens. Par exemple, en voiture, où notre système d'équilibre (le système vestibulaire) détecte les légers mouvements du véhicule, que nos yeux ne perçoivent pas. Dans ce cas, les yeux et le système vestibulaire informent de façon contradictoire le cerveau, lequel perd ses repères et engendre une sensation de mal-être. D'autres effets secondaires surviennent pendant ou après l'exposition aux environnements virtuels, tels des troubles de l'équilibre ou des troubles oculaires. Ces symptômes dépendent souvent des techniques utilisées (qualité du rendu visuel, rapidité du couplage entre le mouvement et l'image), des

tâches que le sujet effectue lors de l'immersion dans le monde virtuel (mouvement de la tête par exemple), mais également de caractéristiques individuelles comme le sexe, l'âge et l'expérience. Quoi qu'il en soit, ce résultat – plus on se sent immergé dans l'univers virtuel, moins on est malade – montre qu'on ne s'immerge vraiment dans un monde virtuel qu'à condition de dépasser le rappel à la réalité exercé par le monde physique.

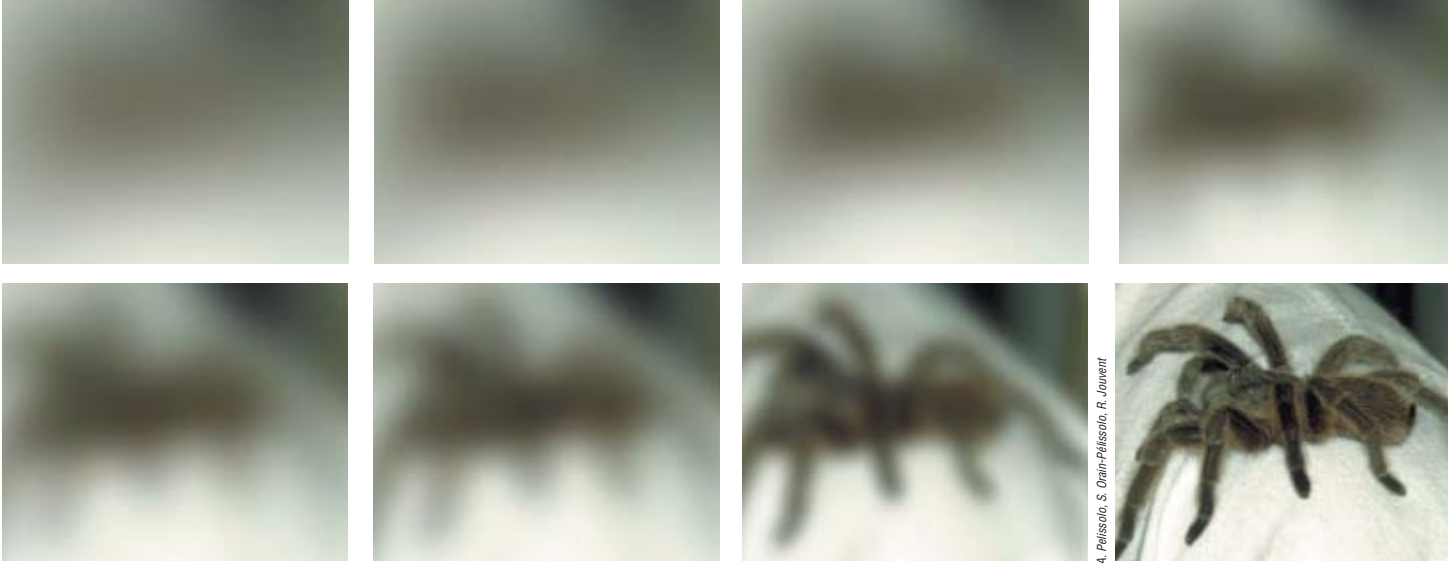
Ce nécessaire détachement de la réalité, qui ouvre les portes du virtuel, ne signifie pas que le cerveau oublie complètement les informations fournies par la présence physique dans le monde réel. Au contraire, de nombreuses expériences ont montré que le cerveau ne coupe jamais les ponts avec les différents sens. Max Ernst et Martin Banks, du Département de psychophysique cognitive et computationnelle de l'Institut Max Planck à Tübingen, ont mis en évidence cet effet sur le système visuo-haptique : ils ont projeté à des sujets l'image d'un objet d'une certaine taille, en leur faisant toucher un objet semblable, mais de taille différente, sans les informer de cette différence. Aucun sujet ne s'est aperçu de l'écart de taille entre l'objet visuel et l'objet tactile : ils avaient la sensation d'avoir en main l'objet qu'ils voyaient. M. Ernst et M. Banks ont ensuite reproduit la même expérience en faisant varier la taille des objets. Ils ont conclu que la taille estimée par les sujets lors d'informations contradictoires est intermédiaire entre celles que fournissent les yeux et celles que fournissent les mains. Le cerveau pondère les deux sources d'informations.

Cette prise en compte générale des sens est modifiée par les pratiques des individus. La cinétose qui se manifeste parfois la première fois que l'on voyage dans un train à grande vitesse, par exemple, disparaît au bout de quelques voyages. Des expériences réalisées dans le Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action (CNRS UMR 9950) au Collège de France sous la direction d'Alain Berthoz, ont permis d'étudier l'adaptation visuo-vestibulaire lors de l'immersion



2. UN CONFLIT VISUO-VESTIBULAIRE peut être étudié en plaçant un personnage dans l'obscurité (en lui bandant les yeux) et en le faisant tourner sur lui-même (a). Après l'avoir fait tourner de 120 degrés, on lui demande d'estimer avec un curseur l'amplitude de la rotation. Les sujets donnent des valeurs assez proches du bon angle. Dans un deuxième temps, les sujets, toujours assis sur le siège, sont immergés dans une pièce virtuelle au moyen d'un casque de réalité virtuelle. Ils reçoivent cette fois-ci une information visuelle

trompeuse sur l'amplitude de leur rotation : leur chaise tourne réellement de 120 degrés, mais l'image virtuelle leur fait croire que la rotation n'a été que de 60 degrés (b). Après 45 minutes passées dans cette situation de conflit visuo-vestibulaire, les sujets sont testés à nouveau dans l'obscurité (c). On constate que leur système vestibulaire a été «recalibré» : les estimations des angles dont ils tournent réellement sont deux fois plus faibles qu'avant l'habituation en réalité virtuelle.



A. Pelissolo, S. Ouh-El-Khalouy, F. Jouvent

3. LE TRAITEMENT DE CERTAINES PHOBIES repose sur une exposition graduelle à l'objet déclenchant la peur. Par exemple, on soigne l'arachnophobie en montrant au malade lors de séances successives des images dont le contraste s'améliore : au départ l'araignée est tellement floue qu'on ne peut la percevoir, puis elle

devient de plus en plus nette. La réalité virtuelle permet d'appliquer ce mode de thérapie dans un environnement tridimensionnel. Le malade voit apparaître graduellement une araignée sur l'épaule de l'avatar qui le personifie dans l'univers virtuel. Ce traitement est souvent efficace.

en réalité virtuelle. Les chercheurs ont fait tourner des sujets sur eux-mêmes les yeux bandés, et leur ont demandé d'évaluer la rotation subie (voir la figure 2). Puis ils ont reproduit l'expérience, en faisant porter aux sujets un casque de réalité virtuelle qui les projetait dans une salle de façon telle qu'ils avaient l'impression de tourner d'un angle A quand, en réalité, ils tournaient d'un angle double. Enfin, dans la dernière partie de l'expérience, on reproduisait la première partie : on leur bandait les yeux en leur demandant d'estimer l'angle dont ils avaient tourné. Les estimations étaient toutes revues à la baisse, quasiment de moitié : un angle estimé à 90 degrés avant l'entraînement en réalité virtuelle pouvait maintenant être estimé à 50 degrés. Le passage en réalité virtuelle avait modifié l'intégration des informations de la vue et du système vestibulaire. Notons par ailleurs que les sujets, lorsqu'ils portaient le casque, n'avaient pas conscience de l'incohérence des informations reçues, malgré la différence notable (du simple au double) entre les informations visuelles et les informations vestibulaires.

Ces observations montrent que le cerveau peut surmonter les contradictions entre des informations sensorielles de sources différentes. Même si l'incohérence des stimulus provoque au départ la cinétose, les sujets peuvent néanmoins finir par adhérer à la situation virtuelle. Par la suite, l'organisme s'adapte et recalibre ses systèmes perceptifs, sans en avertir la conscience. Cette fonction d'adaptation est-elle localisée en un endroit spécifique du cerveau ? Probablement non, les découvertes récentes des neurosciences cognitives laissent penser que l'adhésion d'un sujet à une tâche virtuelle ne relève pas d'un mécanisme unique. Différents modules de traitement des informations y participeraient : la perception, l'intégration globale des informations sensorielles, la mémoire, puis les niveaux cognitifs supérieurs.

Ainsi, l'immersion d'un sujet dans une scène virtuelle le conduit à fabriquer un nouveau cadre de référence perceptif distinct du monde réel. Cette reconstruction des sens soulève la question des repères dans le monde réel : dans quelle mesure un sujet exposé à la réalité virtuelle est-il capable de dissocier ces deux cadres de référence ? Les comportements suscités lors de l'immersion ne persistent-ils pas lors de la réintroduction dans le monde réel ? N'y a-t-il pas un risque

que le sujet perde ses repères une fois revenu dans la réalité ? Les expériences d'adaptation citées sont un début de preuve que, revenu dans la réalité, un sujet conserve des stigmates de son expérience virtuelle. Le succès de l'utilisation de la réalité virtuelle en thérapie prouve l'influence des univers virtuels sur la perception de la réalité.

La réalité virtuelle, outil thérapeutique

Les thérapies comportementales sont utilisées pour traiter les phobies ; elles incluent souvent des expositions graduelles du patient aux stimulus phobogènes, qui visent à le « désensibiliser ». À un patient souffrant d'arachnophobie, on montrera une série de photos où une araignée, au départ totalement floue, apparaît de plus en plus nette (voir la figure 3). L'exposition à des environnements virtuels permet au patient de pratiquer sa thérapie dans un cadre privé, tout en étant exposé à des situations redoutées. En outre, elle permet d'exposer le patient à l'objet phobique sans aucun danger, et facilite la mise en œuvre de la thérapie (on peut imaginer que le patient pratique sa thérapie à domicile grâce aux techniques de télé-médecine). Cependant, l'atout majeur des thérapies virtuelles réside dans le fait que le phobique peut à chaque instant réfuter l'objet phobogène virtuel et se dire qu'il s'agit d'une illusion. Cette « porte de sortie » à son angoisse, actionnable à tout moment, rassure le patient et l'aide à se placer en situation phobique. En fait, le sujet décide de lui-même s'il veut croire ou non à la réalité de l'objet figuré dans le casque. Il est mis en confiance, sachant qu'il peut décider, via un rappel aux références du réel, que l'araignée qu'il perçoit n'existe pas.

Grâce à la réalité virtuelle, on traite des phobies spécifiques, telles la peur de prendre l'avion, l'acrophobie (le vertige), la peur d'un animal (arachnophobie par exemple), la peur de parler en public ou d'autres situations spécifiquement phobogènes pour un individu donné. Par ailleurs, on utilise également la réalité virtuelle dans le traitement des troubles de l'image corporelle et de l'autisme. Les thérapies par les mondes virtuels sont, dans l'ensemble, une réussite. Citons un seul exemple : le traitement de l'acrophobie. Paul Emmelkamp et ses collègues de l'Université d'Amsterdam



4. L'EFFICACITÉ DE LA THÉRAPIE VIRTUELLE visant à traiter l'acrophobie, ou peur du vide, a été testée : on a fait évoluer un groupe de malades dans un bâtiment réel comportant de nombreux endroits élevés (en haut), et un autre groupe dans la réplique quasi parfaite du même environnement, mais simulé en réalité virtuelle (en bas). À l'issue de la thérapie, les deux groupes avaient vaincu leur phobie.

ont soigné des patients souffrant de la peur du vide en les faisant évoluer dans un monde virtuel comprenant de multiples lieux suscitant le vertige, tels une balustrade ou un escalator (voir la figure 4). Cet univers virtuel était la réplique quasi parfaite d'un environnement réel, dans lequel un groupe témoin, également acrophobe, a suivi le même protocole thérapeutique. L'exposition aux situations suscitant la peur a été progressive : le patient n'était soumis à une nouvelle difficulté qu'après avoir vaincu l'anxiété provoquée par la situation à laquelle il avait été confronté. À l'issue du traitement, les deux groupes – celui qui avait évolué dans le monde réel et celui qui avait évolué dans le monde virtuel – avaient, de façon comparable, progressé et vaincu en partie leur peur.

La capacité à garder les acquisitions du virtuel lors du retour dans le monde réel avait déjà été montrée, notamment lors d'une étude de navigation spatiale. David Waller et ses collègues de l'Université de Washington ont fait parcourir un labyrinthe virtuel à 125 sujets, puis leur a demandé de s'orienter dans le même labyrinthe, réel cette fois. Tous les sujets ont été capables de naviguer correctement dans les couloirs physiques. Si de tels résultats sont intuitivement vraisemblables, les progrès enregistrés chez les phobiques sont plus difficiles à expliquer. En effet, la nature du transfert ne concerne plus seulement des connaissances, mais des états mentaux. Voir en réalité virtuelle une araignée ou une perspective vertigineuse, les supporter sans encombre, n'impliquent pas l'acquisition d'une capacité à dépasser sa phobie dans le réel. Pour que ce soit le cas, le sujet doit être convaincu que le succès de son expérience virtuelle lui permet d'assumer une confrontation réelle avec l'objet ou la situation phobogène. Dans le cas d'un échec d'une thérapie en réalité virtuelle, on peut suspecter plusieurs mécanismes : un défaut d'induction dans un monde virtuel (le malade ne s'immerge pas suffisam-

ment dans le monde virtuel), un défaut de plasticité sensorielle (le patient n'arrive pas à mettre en place un nouveau mode de coopération entre ses perceptions sensorielles, dans un univers où la représentation de son corps propre est absente), un problème de transfert d'acquisition du virtuel au réel (les comportements induits dans l'univers virtuel cessent au retour dans le monde réel).

Un risque pour la conscience : la «déréalisation»

Puisque la thérapie virtuelle montre que la réalité virtuelle imprime dans notre cerveau des traces mnésiques, on doit s'interroger sur les répercussions de ces acquis dans le monde réel. Lors d'une thérapie virtuelle le patient est, par exemple, confronté à des situations phobogènes en dehors de toute interaction avec d'autres individus. La thérapie peut-elle s'opérer dans un environnement où le patient n'a aucune interaction avec un autre humain ? Au contraire, des phobies sociales ne vont-elles pas se développer ? En outre, quelles peuvent être les conséquences de l'immersion dans un monde sensoriel appauvri ? N'y a-t-il pas de risque de déclencher d'autres troubles, voire une addiction à un monde virtuel où le patient contrôle tout, devient le maître du monde... virtuel ?

Ces questions concernent non plus les usages thérapeutiques de la réalité virtuelle, mais les usages ludiques. Le développement du virtuel dans les pratiques humaines nous confronte à de nouvelles lois d'interaction avec notre environnement. Ces lois déclencheront des conflits sensoriels, que notre organisme devra affronter et auquel il devra s'adapter. Toutefois, en s'adaptant, il prend le risque que le cadre de référence qu'il se construit soit distinct du cadre de référence associé au monde réel. Dans ce cas, les conflits risquent d'entraîner une «déréalisation» de la réalité. Quelles peuvent être les conséquences de l'immersion dans un monde sensoriel appauvri ? La réalité virtuelle comporte le risque de faire émerger des états mentaux pathologiques, des expériences dissociatives : une perte du sens de la réalité du monde externe, et une impression d'être devenu un observateur de son propre fonctionnement mental ou de son propre corps. La réalité virtuelle est fondée sur le sentiment de présence dans un monde qui n'existe pas. Un lycéen ne risque-t-il pas de se trouver fragilisé pour dépasser l'inévitable remaniement identitaire que représente son adolescence, si la pratique du virtuel l'invite fréquemment à changer son cadre de référence ? L'utilisation de la réalité virtuelle nécessite par conséquent que l'on étudie sérieusement les facteurs qui influent sur le transfert des comportements d'un cadre de référence virtuel vers le cadre de référence réel. À terme se profile un nouveau champ de recherches qui viseront à élucider les mécanismes cognitivo-sensoriels de la déréalisation et de l'adaptation biologique.

Ces études sont d'autant plus urgentes que la thérapie virtuelle est promise à un bel avenir. Les outils de création d'environnements tridimensionnels permettent d'envisager la possibilité d'adapter les environnements à chaque patient en transformant des photos prises dans le cadre de vie du sujet en textures applicables sur les murs virtuels. Les techniques de réalité virtuelle deviennent de plus en plus légères : certains casques de réalité virtuelle ne pèsent plus que quelques centaines de grammes, les applications tournent sur des ordinateurs portables, les capteurs se sont miniaturisés... On prêterait sans doute

bientôt à un patient un équipement, de sorte qu'il puisse pratiquer la thérapie chez lui, via un réseau lui permettant de rester en contact avec le thérapeute.

En outre, la réalité virtuelle suit les progrès technologiques, permettant ainsi une immersion de plus en plus importante du sujet. Néanmoins, l'augmentation des conflits sensoriels pose des problèmes de tolérance qui devraient limiter à terme cette technique simple au profit de ce qu'on appelle déjà la réalité augmentée. Cette dernière consiste à superposer des images virtuelles à l'environnement réel : seuls certains objets sont virtuels et se déplacent en étant projetés sur le fond qui demeure réel. On atteint là le maximum de difficulté pour le travail du cerveau humain, en particulier en ce qui concerne l'intégration de différents niveaux de la conscience (conscience du réel, conscience de soi, conscience perceptive...). En réalité augmentée, l'individu doit garder un niveau suffisant de conscience de soi pour ne pas perdre la raison, tout en intégrant le personnage virtuel au monde réel. En effet, nous avons vu que le cerveau humain intègre les différentes informations sensorielles et proprioceptives qui lui sont fournies à partir de l'environnement. Ce travail d'intégration participe au sentiment d'identité et de conscience de soi : «L'appui de mes voûtes plantaires participe à me conforter dans l'idée que c'est moi qui suis debout.» Un environnement de plus en plus virtuel nous imposera de trouver de nouvelles stratégies pour maintenir la conscience de notre réalité...

Isabelle VIAUD-DELMON est chargée de recherche au CNRS. Roland JOUVENT est professeur à l'Université Paris VI. Tous deux travaillent au Laboratoire vulnérabilité, adaptation et psychopathologie, CNRS UMR 7593, à l'Hôpital de la Salpêtrière, à Paris.

I. VIAUD-DELMON, Y. IVANENKO, A. BERTHOZ et R. JOUVENT, *Sex, lies and virtual reality*, in *Nature neuroscience*, vol. 1, pp. 15-16, 1998.

I. VIAUD-DELMON, Y. IVANENKO, A. BERTHOZ et R. JOUVENT, *Adaptation as a sensorial profile in trait anxiety: a study with virtual reality*, in *Journal of anxiety Disorders*, vol. 14, pp. 583-601, 2000.

M. O. ERNST et M. S. BANKS, *Human integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion*, in *Nature*, vol. 415, pp. 429-433, 2002.

LES NEUROSCIENCES CHEZ FLAMMARION MÉDECINE : des ouvrages de référence actuels, uniques et originaux



Broché, 350 pages,
250 illustrations couleurs.

PATHOLOGIE DU MUSCLE STRIÉ : de la biologie cellulaire à la thérapie

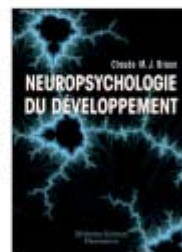
J. et A.-M. DE RECONDO

Un point précis et exhaustif d'un abord moderne de la pathologie du muscle strié prenant en compte les progrès importants issus du développement de la génétique et de la biologie moléculaire. Un ouvrage clair, complet et pratique richement illustré de plus de 200 schémas et de nombreuses photographies en couleurs.

NEUROPSYCHOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT

CLAUDE M.J. BRAUN

Une vision globale de la neuropsychologie du développement décrivant les rapports cerveau-comportement qui associe recherche fondamentale et pratique clinique. La très grande richesse iconographique et les nombreux tableaux ajoutent au côté pratique de l'ouvrage.



Broché, 544 pages, 418
tableaux et 100 figures.



Broché, 672 pages,
525 illustrations en couleurs.

PSYCHOPHARMACOLOGIE ESSENTIELLE

STEPHEN M. STAHL

Un véritable pari pédagogique qui réussit grâce à une rédaction limpide et de nombreux schémas explicatifs à présenter clairement l'essentiel des notions les plus récentes en neurobiologie et leurs applications thérapeutiques médicamenteuses en psychiatrie, tout ce qu'il faut savoir pour mener à bien un traitement médicamenteux psychiatrique. Un livre de référence par des auteurs internationalement reconnus comme experts, dans leur spécialité.

LES TROUBLES DE LA PERSONNALITÉ

A. FELINE, J.-D. GUELFY, P. HARDY

Un ouvrage moderne et complet sur les troubles de la personnalité : définition du concept, différentes approches de la genèse de la personnalité normale et pathologique, principaux critères diagnostiques, instruments d'évaluation, conceptions, épidémiologie et aspects évolutifs, étude détaillée des différents troubles de la personnalité, étude des aspects thérapeutiques et médico-légaux.



Relié, 420 pages,
250 illustrations en couleurs.

Ouvrages en vente chez votre librairie spécialisée ou par correspondance

BON DE COMMANDE à retourner à FLAMMARION MÉDECINE, 4, rue Casimir Delavigne - 75006 PARIS

NOM : Prénom :

Adresse :

Code postal : Ville :

☐ Pathologie du muscle strié au prix unitaire TTC de 77.00 €

☐ Neuropsychologie du développement au prix unitaire TTC de 76.00 €

☐ Psychopharmacologie essentielle au prix unitaire TTC de 75.00 €

☐ Troubles de la personnalité au prix unitaire TTC de 60.00 €

Participation aux frais de port : 5.00 €

Je commande et je règle par chèque à l'ordre de Flammarion un total de : €

(Une facture acquittée sera jointe au colis)

pour la science 1302

La neuropharmacologie de la conscience

JEAN-POL TASSIN

Le traitement conscient des informations nécessite que les stimulus soient maintenus dans le cortex préfrontal suffisamment longtemps pour être analysés. Deux neuromédiateurs, la dopamine et la noradrénaline, sont indispensables au maintien de l'activation durant le traitement des données.

Lorsque les chercheurs en neurosciences s'interrogent sur les mécanismes par lesquels le cerveau accède à la conscience, ils évoquent souvent la mise en phase de réseaux de neurones (voir *Synchronisation neuronale et représentations mentales*, par Wolf Singer, page 74). La conscience apparaîtrait quand des assemblées de neurones déchargeraient de façon synchrone. Toutefois, on ignore encore les circonstances qui déclenchent cette concordance de phase ou les mécanismes de perte de conscience qui accompagnent des situations physiologiques aussi fréquentes que le sommeil. Parmi toutes les approches tentées pour mieux cerner la conscience, la voie de la neuropharmacologie en est une possible, car de nombreux composés que cette discipline étudie sont considérés comme «modifiant les états de conscience». C'est le cas de tous les produits qui engendrent des toxicomanies, tels les amphétamines, la cocaïne, l'héroïne, le tétrahydrocannabinol (le composé actif du cannabis) ou l'alcool. Qui plus est, d'autres molécules psychotropes utilisées en clinique, comme les neuroleptiques ou les antipsychotiques, pourraient agir en permettant au patient de retrouver un certain niveau de conscience que sa pathologie a perturbé. Nous allons examiner comment certaines substances apparentées aux psychotropes, mais sécrétées naturellement lors des activités cérébrales, jouent des rôles importants dans la mise en place des phénomènes cognitifs. Leur étude est nécessaire pour compléter l'approche purement neuronale de la conscience. Nous en déduirons que la conscience n'est pas un phénomène de tout ou rien, mais une suite de discontinuités qui modulent l'état de conscience, faisant parfois passer le sujet dans un état de non-conscience. La conscience n'est jamais éteinte, sauf en cas de lésions cérébrales graves.

La conscience et le temps

Dans l'état actuel des connaissances, réfléchir sur la conscience – un terme qui recouvre des phénomènes divers – nécessite de faire un certain nombre d'hypothèses. Par exemple, on pourrait définir la conscience comme la capacité du système nerveux central à se confronter en permanence à la réalité. Pour que cette réalité soit perçue, il faut qu'elle se maintienne un temps suffisant et que le traitement cérébral, qui permet d'y avoir accès, ait le temps de

s'accomplir. Selon cette hypothèse, le temps est la variable fondamentale des mécanismes cognitifs.

Il existerait, dans le cerveau, deux modes de traitement des informations caractérisés par des échelles de temps différentes : un mode rapide, qualifié d'analogique, où l'information est traitée sans que l'on en ait conscience, et un mode lent, dit cognitif, où l'information est analysée consciemment, avant d'être stockée. Au cours du développement, quand plusieurs neurones sont activés par un même stimulus, des connexions s'établissent qui se renforcent à chaque fois que le même stimulus se reproduit à l'identique. Au contraire, chaque fois que l'expérience diffère, les connexions sont modifiées. L'activation des neurones par un stimulus rappelant une expérience passée déclenche une cascade de réactions qui codent cette expérience, un peu à la façon d'une goutte d'eau qui, sur une vitre, emprunte le chemin parcouru par les gouttes qui l'ont précédée. Ce mécanisme constitue un système de mémorisation analogique grâce auquel le cerveau reconnaît instantanément un stimulus visuel ou auditif sans qu'il soit nécessaire de l'analyser consciemment (on distingue «instinctivement» le miaulement d'un chat du grincement d'une porte). Quant au second mode de traitement, le mode cognitif, il nécessite l'existence d'une «mémoire de travail» qui permet au système nerveux central de s'affranchir, au moins partiellement, des contraintes liées au temps ou plutôt des contraintes liées au fait que les perceptions affluent au cerveau plus rapidement qu'il ne peut les interpréter.

C'est le cortex préfrontal qui intervient dans cette «organisation temporelle du comportement». Le cortex préfrontal permet de rassembler les éléments nécessaires à la réalisation d'une tâche en éliminant les interférences internes et externes susceptibles de rompre les enchaînements comportementaux. Grâce à l'intervention du cortex préfrontal, l'information concernant un objet ou une situation qui vient d'être perçue reste active pendant des temps nettement supérieurs aux quelques centaines de millisecondes qui suffisent à l'acquisition de la perception elle-même. En fait, on peut supposer que le cortex préfrontal maintient l'information active jusqu'à ce que l'analyse et le classement des stimulus extérieurs puissent être extraits de leur contexte immédiat et dotés d'un sens. Le cerveau peut alors comparer ces stimulus