

► Le voyage mental, créatif et décarboné, est une expérience que tout le monde peut vivre sans effort pour s'abstraire de l'immédiateté et se projeter au-delà du réel. Cette faculté de pouvoir effectuer ce voyage virtuel interroge les philosophes et les scientifiques. D'ailleurs, qu'est-ce que voyager mentalement ? Quels sont les circuits neuronaux impliqués ? Quelles sont les conditions qui nous entraînent dans un voyage halluciné, nous privent de voyage ou nous permettent de le maîtriser ? Quels sont les avantages adaptatifs de ce périple imaginaire ? Est-il présent chez d'autres êtres vivants et dans nos machines « intelligentes » ? ◀

“While the body is confined to one planet, along which it creeps with pain and difficulty; the thought can in an instant transport us into the most distant region of the universe.”¹

David Hume, An Enquiry Concerning Human Understanding (1748)

Un voyage décarboné aux frontières du réel et du temps

Dans la préface de « Voyage au bout de la nuit », Louis-Ferdinand Céline (1894-1961) est clair : « Voyager, c'est bien utile, ça fait travailler l'imagination. Tout le reste n'est que déceptions et fatigues. Notre voyage à nous est entièrement imaginaire. Voilà sa force » [1]. Le voyage mental est une expérience décarbonée, source de connaissances nouvelles, que tout le monde peut faire, avec ses neurones : s'abstraire du moment présent, du contexte immédiat et se déplacer dans un ailleurs, un possible que nous inventons ou un passé que nous revisitons. Cette faculté nous permet de nous déplacer virtuellement dans l'espace et à travers le

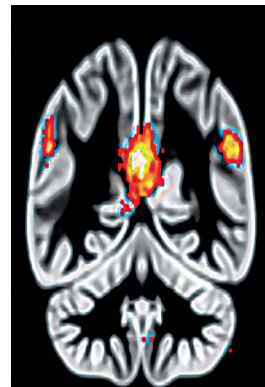
Vignette (© Michel Dojat).

¹ Traduction : « Alors que le corps est confiné à une planète, le long de laquelle il se traîne avec peine et difficulté, la pensée peut en un instant nous transporter dans la région la plus éloignée de l'univers ».

Les territoires mouvants du voyage mental

Collectif CARMEN (Conscience, Attention et Représentation Mentale)

Manik Bhattacharjee¹, Thomas Christen²,
Chantal Delon-Martin², Michel Dojat^{2,3},
Étienne Hugues², Yves Goldberg², Christian Graff⁴,
Anne Laurençon⁵, Lydia Oujamaa^{6,7},
Karin Pernet-Gallay², Laurent Vercueil^{4,8}



¹Université Grenoble Alpes, CNRS, UMR 5525, VetAgro Sup, INP, TIMC, Grenoble, France.

²Université Grenoble Alpes, Inserm, U1216, Institut Neurosciences, Grenoble, France.

³Université Grenoble Alpes, Inria, CNRS, INP, LJK, Grenoble, France.

⁴Université Grenoble Alpes, CNRS, LPNC, Grenoble, France.

⁵IGFL, UMR 5534, CNRS, UCBL1, ENS-L, Lyon, France.

⁶Service de rééducation post-réanimation, Groupement de coopération sanitaire CHU St Étienne.

⁷Centre médical de l'Argentière, Saint-Étienne, France.

⁸CHU, Grenoble Alpes, Grenoble, France.

michel.dojat@inserm.fr

temps dans un monde qui nous est propre, façonné par nos expériences. Le chasseur voyage dans la tête des chiens et des animaux sauvages pour affiner sa traque [2], et Perrette, la laitière des fables de La Fontaine, « compte déjà dans sa pensée tout le prix de son lait » [3]. Bien qu'elle soit transportée, Perrette perd finalement le lait et non la tête ; son voyage n'est pas hallucinatoire. Comme nous le verrons, elle peut faire la distinction entre imaginaire et réel, car les réseaux neuronaux de remémoration de scènes perçues se distinguent de ceux actifs durant leur perception [4].

Le voyage mental peut se définir comme une expérience sans déplacement physique qui prend sa source dans des connaissances introspectives, subjectives, empathiques, encodées par la mémoire et permet une exploration créative des possibles. Il prend différentes formes en fonction des contraintes, maîtrisées ou non, exercées sur le déroulement de la pensée (Figure 1). Ce voyage peut s'effectuer sur commande, par exemple lorsqu'il est demandé à une personne de se souvenir de ce qu'elle a mangé la veille, mais le plus souvent, il émerge spontanément, à la faveur de moments d'oisiveté.

Dans cette revue, nous examinons les structures cérébrales associées au voyage mental, notamment au travers d'expériences combinant les sciences cognitives et l'imagerie cérébrale. Nous mettons l'accent sur le rôle de différents réseaux cérébraux et leur dynamique, et insistons



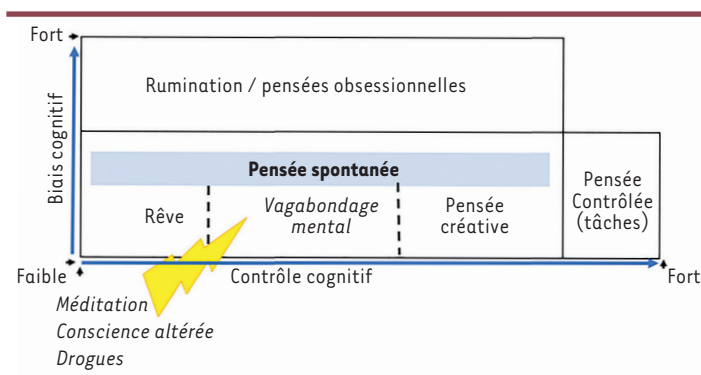


Figure 1. Différentes formes de voyage mental en fonction de contraintes appliquées, volontaires ou automatiques. Des facteurs externes (flèche jaune) exercent un effet excitateur ou inhibiteur sur le voyage mental (d'après [51]).

sur le lien étroit entre remémoration du passé et représentation de l'avenir. Nous montrons que la capacité à voyager mentalement peut être aiguisée ou altérée par différents facteurs : substances hallucinogènes, méditation ou modification accidentelle de la conscience. Enfin, nous décrivons la mise en évidence récente d'une forme de voyage mental chez le rat, par décodage de son activité neuronale avant de nous intéresser aux analogies entre voyage mental et développement autonome de stratégies nouvelles dans certains systèmes d'intelligence artificielle.

Les circuits neuronaux du voyage

Le réseau du mode par défaut : un réseau essentiel

Pour voyager mentalement, il faut s'extraire, au moins en partie, du monde qui nous entoure. Le monde intérieur, mémorisé, imaginé, et nos chemins mentaux permettent de nous projeter vers un ailleurs. De récents travaux en neuroimagerie montrent que le cerveau, à l'instar de celui de Perrette [3], a la capacité de se tourner vers son monde intérieur ou de s'orienter vers le monde extérieur. Pour chacun de ces deux mondes, des régions cérébrales spécifiques sont impliquées, profondément interconnectées. Pour le monde intérieur, les structures d'un réseau appelé communément le « réseau du mode par défaut » (ou DMN)² communiquent de manière particulièrement intense, alors que l'activité de ce réseau est fortement diminuée lorsque le sujet est tourné vers le monde extérieur. Que sait-on de ce réseau particulier ? Il semble qu'il apparaisse au cours du développement du fœtus, *in utero* [5]. Au cours de l'évolution, il a été trouvé chez le singe [6], chez la souris [7] et chez le rat [8]. Chez des organismes autres que les mammifères, céphalopodes (poulpe, seiche), poissons (zebrafish) ou oiseaux, un tel réseau n'a pour l'instant pas été décrit dans la littérature (Tableau 1). Son altération a été montrée dans des conditions

pathologiques psychiatriques (dépression, anxiété, traumatisme psychologique, schizophrénie), dans les états de conscience altérée ou dans des pathologies neurodégénératives [9], ce qui peut influencer le voyage mental chez certaines personnes. En outre, la connectivité du réseau DMN prédomine dans les ondes lentes (<4Hz) et les interactions avec les autres réseaux sont prédominantes dans les ondes bêta³[10]. Ce réseau est constitué de régions profondes dans le précuneus /cortex cingulaire postérieur, dans le cortex cingulaire antérieur, ainsi que les aires pariétales multimodales droite et gauche (Figure 2). Son activité peut fluctuer dans le temps selon l'état de vigilance du sujet par exemple.

Cette revue a pour objectif de décrire l'implication de ce réseau dans le voyage mental.

L'hippocampe, une structure clé

Le voyage mental est un voyage temporel. Quelles structures et réseaux cérébraux sont impliqués dans la projection vers le passé et vers le futur, et qu'est-ce qui les distingue ? Les études utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), l'électrophysiologie (électroencéphalogramme : EEG, magnétoencéphalographie : MEG, électroencéphalographie intracrânienne : iEEG), réalisées sur des cerveaux normaux ou lésés nous apportent des éléments pour répondre à ces questions. Une lésion bilatérale des hippocampes [11] provoque un déficit très marqué de la mémoire épisodique [19] (→) et (→) Voir *m/s* n° 12, 2017, page 1089 entraîne également une incapacité à se projeter dans le futur.

Trois hypothèses ont été proposées pour expliquer ce lien entre mémoire et projection dans le futur : (1) une projection future est construite par recombinaison d'éléments issus d'événements passés ; (2) l'hippocampe postérieur est impliqué dans les tâches centrées sur soi, il est donc requis lors d'un voyage mental ; et (3) l'hippocampe assurerait le lien entre des éléments fragmentés pour construire une scène cohérente. En tout état de cause, l'hippocampe est essentiel au voyage mental, dans le futur comme dans le passé. Si les lésions dans le cortex préfrontal ventro-médian causent un déficit spécifique aux projections dans le futur [12], les lésions touchant le lobe temporal médian

² En neurosciences le réseau de mode par défaut (DMN), également connu sous le nom de réseau par défaut, est un réseau cérébral actif lorsque le cerveau est au repos, impliqué dans la rêverie, l'introspection et la réflexion sur soi. Il est composé principalement du cortex préfrontal médial dorsal, du cortex cingulaire postérieur, du précuneus et du giro angulaire. Ce réseau se désactive lors de l'engagement dans des tâches (ndlr d'après Wikipédia).

³ Les ondes cérébrales (l'activité cérébrale) sont divisées en 5 catégories principales (delta, thêta, alpha, bêta et gamma), selon la fréquence des ondes émises ou leur nombre d'oscillations par seconde de ces ondes en hertz (Hz). Un hertz équivaut à une ondulation par seconde. Les ondes bêta ont une fréquence supérieure à 14 Hz et sont associées à un état d'éveil actif. Elles sont liées à des activités mentales telles que la concentration, la prise de décision et la résolution de problèmes. Les ondes gamma (au-dessus de 40 Hz) sont liées à des traitements plutôt cognitifs.

Ontogénèse	<ul style="list-style-type: none"> – Le DMN est observé dès la 32^e semaine du stade fœtal – Au cours du développement, il est d'abord plutôt latéralisé à droite puis devient bilatéral avec le développement du langage – Lors du vieillissement normal, il reste solidement ancré dans le cortex
Phylogénèse	<ul style="list-style-type: none"> – Le DMN est présent chez les rongeurs, chiens, et singes – Son existence est incertaine chez les poissons, oiseaux, grenouilles, et chez les invertébrés

Tableau 1. Points saillants du réseau de mode par défaut (DMN).

(proche de l'hippocampe) créent un déficit pour les projections tant passées que futures, des résultats confirmés par des études en EEG et MEG chez le sujet sain [13] ou en iEEG chez des patients [14]. Ainsi les projections dans le temps sont sous-tendues par l'hippocampe et le lobe temporal qui permettent l'accès aux éléments de la mémoire épisodique, à la création de scène et l'évocation du soi, tandis que les projections dans le futur dépendent du lobe préfrontal ventromédian, région impliquée tant dans la formation de l'image de soi que dans la définition des objectifs personnels.

Cerveau dynamique, voyage mouvant

Une propriété du voyage mental est sa labilité dont la granularité temporelle peut descendre bien en-deçà de la seconde. Comme celui-ci est possible en l'absence de stimulations extérieures, cela suggère l'existence d'une dynamique cérébrale intrinsèque. Or, en raison de multiples limites liées à la neuroimagerie, la description de l'activité cérébrale a principalement porté sur son organisation spatiale, révélant ainsi un certain nombre de réseaux qui s'activent suivant telle ou telle condition, comme le DMN qui s'active au repos (Figure 2). En réalité, l'activité cérébrale est dynamique, distribuée et transitoire. Ainsi, l'étude temporelle fine de l'activité par IRMf au repos a révélé un paysage plus complexe où un certain nombre de réseaux s'activent et se désactivent [15, 16], avec une organisation temporelle hiérarchique [16]. Face à la complexité de cette organisation temporelle, la modélisation de l'activité neuronale, émergeant de l'interconnexion anatomique des différentes régions cérébrales, permet de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents. Cette modélisation montre qu'une dynamique intrinsèque au repos, exhibant un riche répertoire d'états cérébraux, est nécessaire pour générer la réponse cérébrale distribuée, observée expérimentalement suite à une stimulation.

Des clignements révélateurs

Cette dynamique cérébrale est aussi modulée de façon comportementale : les clignements des yeux nous isolent, par à-coups, de notre présent visuel. Ils sont moins fréquents avant le développement du langage [17], véhicule privilégié du voyage mental. Très fréquents chez les adultes en conversation, ils ont été considérés comme un moyen

de s'accorder sur la segmentation du discours. Or, ils sembleraient plutôt ponctuer l'activité mentale individuelle [18].

En effet, lorsqu'une personne A présente verbalement un itinéraire à une autre personne B qui le découvre, les deux interlocuteurs se mettent à cligner des yeux bien au-delà du taux de contrôle. Lorsque A répète l'itinéraire à B qui l'a déjà parcouru, A, reprenant son voyage intérieur, cligne toujours autant, alors que B – qui y est indifférente – ne cligne plus. Même si A décrit l'itinéraire dans sa tête seulement (parole intérieure), son taux de clignement monte comme lors d'une présentation à voix haute ; face à elle, B, n'entendant rien, reste bien sûr au taux de contrôle de l'individu seul en silence.

Sur ces indices, la mémorisation de scènes visuelles par la parole intérieure a été comparée au simple vagabondage mental avec parole, et à la visualisation intérieure (sans parole). Lorsque la parole interne émerge spontanément, décrivant la scène ou vagabondant librement, la production de clignements augmente ; en visualisation intérieure, au contraire, elle est inhibée, comme c'est le cas en situation d'attention visuelle (extérieure). Pourtant, la différence n'est pas prise en compte sur l'électromyogramme du visage. En neuropsychologie et en IRMf, les clignements des yeux sont considérés comme des signaux parasites qui sont systématiquement filtrés. Or, l'examen du contexte cérébral de leur apparition pourrait montrer comment la commande des paupières régule les séquences d'entrées visuelles et de traitement du paysage intérieur.

Voyager autrement

Privé de voyage

Il est difficile d'admettre que l'on puisse se défaire complètement des influences du contexte dans lequel la pensée survient et qu'il n'y ait aucun rapport, par exemple, entre le contenu d'une rêverie et la conférence à laquelle nous sommes en train d'assister et dont nous avons perdu le fil. Ainsi, davantage qu'une coupure nette entre des pensées « induites » et des pensées « spontanées », le processus est continu (Figure 3). La réminiscence (la madeleine de Proust) est la capacité d'un stimulus de l'environnement (la madeleine) de nous faire brutalement voyager dans **(→) Voir m/s n° 12, le temps et dans l'espace [19] (→). 2017, page 1089**

Lorsque les contraintes environnementales pèsent moins, la pensée vagabonde librement et le voyage se déroule avec un minimum de contraintes. Il existe cependant des pathologies qui affectent sélectivement la pensée spontanée tout en épargnant la pensée

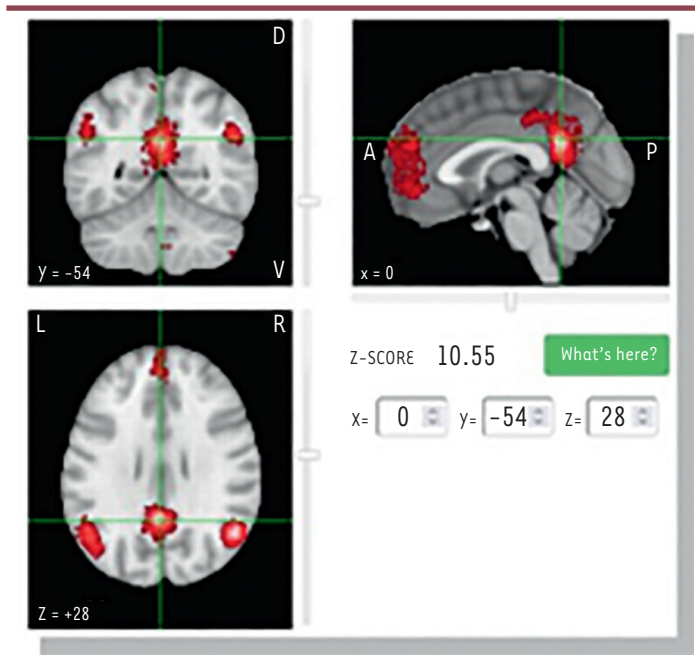


Figure 2. Réseau du mode par défaut (DMN) généré à l'aide du logiciel neurosynth (<https://www.neurosynth.org>) et affiché sur une image haute résolution de la matière grise d'un cerveau adulte moyen. Il comprend les aires suivantes : cortex préfrontal médial dorsal, le cortex cingulaire postérieur et precuneus, et le gyrus angulaire bilatéral.

contrainte. Le neurologue Dominique Laplane a décrit ce symptôme sous le terme de « perte de l'auto-activation psychique », car certains patients se réveillant d'un coma ne peuvent plus générer un voyage mental et dépendent des stimulations de leur entourage pour initier une activité mentale ou comportementale. Le terme qui qualifie le mieux leur contenu mental est le vide. Leur état est caractérisé par une absence totale de motivation intrinsèque, une forme sévère d'apathie qualifiée d'aboulie⁴. Ce vide mental, ou défaut de pensée spontanée, ne se résume pas à l'absence de production des images nécessaires au voyage mental, comme dans l'aphantasie⁵, mais concerne également le langage, et, probablement, la manipulation de concepts. De plus, contrairement à l'aphantasie, le vide mental est entièrement réversible sous sollicitation extérieure, de sorte qu'un voyage sur commande peut avoir lieu.

Les lésions de ces patients sont situées dans les noyaux gris centraux⁶ [20]. Ainsi, un voyage mental autonome, sous contrôle, s'appuie sur le rôle des projections dopaminergiques vers les noyaux gris centraux dans le système de récompense [21]. Lorsque la pensée est dépourvue de motivation extrinsèque, elle ne repose que sur des méca-

⁴ L'aboulie est un trouble neurologique caractérisé par une diminution ou une absence de volonté, rendant difficile l'initiation d'actions et la prise de décisions.

⁵ L'aphantasie est l'incapacité de créer une image mentale.

⁶ Les ganglions de la base (autrement appelés noyaux gris centraux ou noyaux de la base) sont un ensemble de structures sous-corticales constitué par des noyaux, interconnectés au niveau télencéphalique (hémisphères cérébraux) et diencéphalique.

nismes endogènes liés à la recherche de la satisfaction, notamment celui d'anticiper son devenir et donc, de produire des scénarios plaisants du monde à venir.

Voyager au pays du coma

Les récits de coma, entre témoignages et fictions, nous fascinent à la manière des expériences de mort imminentes vécues [22] (→) et dont le (→) Voir *m/s* n° 3, 2014, page 246

ronale, quand celle-ci est exceptionnellement enregistrée, donne des clés de compréhension des phénomènes mémoriels hors norme [23]. À ce propos, le dessinateur Matthieu Blanchin [24] livrait un témoignage saisissant, nous plongeant dans une souffrance physique et morale intense, à la frontière entre soi et néant. A-t-il réellement vécu ces événements ou son esprit en a-t-il reconstruit le souvenir ? Lui-même a peiné à le savoir, suggérant qu'on ne sort jamais indemne du coma.

Le journaliste Jean-Dominique Bauby [25], atteint du syndrome de *locked-in*⁷ après un accident vasculaire cérébral, a dicté son livre à l'aide d'un code basé sur le clignement des paupières. Ce syndrome commence souvent par quelques jours de coma suivis d'un retour à la conscience dans un corps paralysé, sauf pour l'œil. Parfois, les patients reviennent à la conscience sans que leur entourage ne s'en rende compte, ce qui rend encore plus troublante la question de la poursuite des soins en réanimation. Jean-Dominique Bauby rapporte un voyage mental spécifique induit par le *locked-in syndrome* et expose la souffrance de celui qui, prisonnier de son corps, observe les réactions de ses proches et soignants.

Voyager léger

Les pratiques méditatives permettent au sujet d'explorer son for intérieur. Elles visent à faire vivre une expérience distincte de la veille, du sommeil ou du rêve, décrite par les pratiquants comme une dissolution des contenus conscients. De nombreuses études en EEG et IRM ont tenté de caractériser ces états physiologiques. Lors de la méditation, une alternance entre vagabondage et focalisation est observée. Un cycle d'activation du DMN (vagabondage mental) est suivi de celui du réseau de la saillance (sensibilisation aux distractions), puis du réseau exécutif central (réorientation de l'attention) [27], avant d'atteindre une focalisation marquée par une activité corticale préfrontale [28]. Bien que le vagabondage soit toujours

⁷ Le *locked-in syndrome* (syndrome d'enfermement) est un état d'éveil et de conscience avec tétraplégie et paralysie des nerfs crâniens inférieurs résultant en une incapacité à montrer une expression faciale, à bouger, à parler ou à communiquer, sauf par mouvements oculaires codés.

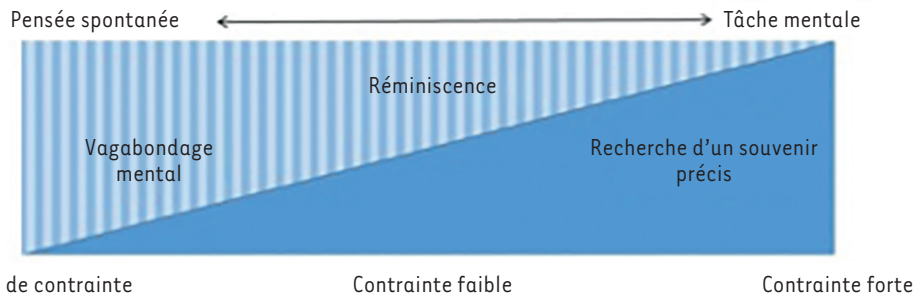


Figure 3. Le voyage mental est plus ou moins contraint par l'expérience subjective en cours, la réalisation d'une tâche cognitive, sous le contrôle du système exécutif.

présent, il diminue chez les personnes qui méditent, même en dehors des phases de méditation, avec la pratique [29]. Leur résilience au stress augmente également [30]. Habituellement, le DMN ne s'active jamais simultanément avec le réseau central exécutif chez les sujets contrôlés, mais chez les personnes expérimentées qui méditent, ces deux réseaux peuvent être co-activés. Certains pensent que cette co-activation pourrait correspondre à l'état de dissolution du sentiment de soi⁸ décrit par les personnes qui méditent beaucoup [31].

Voyager « chargé »

Il est d'autres voyages qui peuvent mener dans des contrées fort lointaines de la psyché ; il s'agit, entre autres, de ceux induits par des composés naturels comme la psilocybine des champignons magiques, la mescaline du cactus, les lianes utilisées par les chamans dans la potion d'Ayahuasca [32] ou encore des substances synthétiques comme le LSD, qui ont fait voyager bien des individus. L'expérience subjective est clairement distincte de l'état conscient éveillé : la sensibilité aux stimuli internes et externes est exacerbée, il peut y avoir des distorsions des perceptions visuelles et auditives, voire même une forme d'amplification des émotions et de l'humeur [33]. En fait, ces composés entraînent des modifications importantes de la conscience de soi qui sont caractérisées, entre autres, par un « sentiment océanique »⁹, où la distinction entre soi et les autres ou même entre soi et l'environnement s'estompe ; certains voyageurs, au retour d'un *bad trip*, rapportent aussi avoir eu peur de se perdre en tant que sujet [34, 35]. Ainsi, une composante importante de l'expérience psychédélique se rapporte à une forme de perte d'identité et cette dissolution de l'ego peut s'éprouver de façon positive ou négative [36-38]. Ces composés inducteurs ont pour propriété commune de se lier aux récepteurs sérotoninergiques (type 2A) et d'entraîner la désintégration fonctionnelle du DMN (Figure 2). Sachant que le DMN a un rôle intégrateur [39, 40], on serait tenté de spéculer qu'il sous-tend le « moi » du voyageur, ce « moi » qui se trouve alors dissout par les substances [41]. De fait, la réduction de l'intégrité du DMN entraîne une perte temporaire d'accès

aux informations autobiographiques [42], le contenu de la conscience est alors beaucoup moins infiltré par des considérations relevant du soi. En ce sens, le voyage « chargé » ressemble beaucoup au voyage « léger » induit par la méditation où le moi est remis en question.

Quels avantages à voyager ?

Le voyage mental du rat

Si la capacité à voyager mentalement résulte de l'évolution biologique, la question de savoir si elle existe chez des animaux non humains se pose. Très récemment, l'équipe américaine de C. Lai [43] a abordé le problème en tirant parti des propriétés bien connues de certains neurones de l'hippocampe appelés « cellules de lieu » (*place cells*). Ces neurones, mis en évidence chez le rat à l'aide d'électrodes intracérébrales, s'activent en fonction de la position de l'animal dans l'enceinte expérimentale. En combinant les réponses d'un nombre suffisant de tels neurones, grâce à une électrode à contacts multiples, il est possible de reconstituer cette position à tout instant. Ces constatations s'appliquent aussi lorsque l'animal se déplace dans un environnement virtuel, un décor projeté sur un écran et dans lequel il peut évoluer en courant sur une petite sphère comme un coureur sur un tapis roulant. Un but peut être donné à ce déplacement, en délivrant une récompense (une goutte de liquide) à l'animal assoiffé chaque fois qu'il atteint un repère précis du monde virtuel. Utilisant ce système, Lai et ses collaborateurs ont eu l'idée de placer leurs rats dans le décor correspondant non pas au mouvement de l'animal sur la sphère, mais directement à l'état d'activité spontanée de leurs cellules de lieu. Ils ont ainsi pu suivre la trajectoire des rats telle qu'elle était représentée dans leur hippocampe, indépendamment de leurs mouvements réels, et les voir anticiper mentalement leur itinéraire vers le lieu de récompense. Ce véritable tour de force donne accès à ce qui s'apparente fort à une forme de voyage mental, chez l'animal.

⁸ L'état de dissolution de l'ego induit par les psychédéliques classiques correspond à des perturbations significatives de la conscience de soi, qui peuvent se rapprocher des états modifiés de conscience induit par la méditation.

⁹ Le sentiment océanique est une notion popularisée par l'écrivain Romain Rolland (1866-1944) qu'il définit comme l'impression ou à la volonté de se ressentir en unité avec l'univers (ou avec ce qui est « plus grand que soi ») (ndlr d'après Wikipédia).

Comment voyagent nos machines « intelligentes » ?

Bien que peu nombreuses, certaines études établissent un lien explicite entre intelligence artificielle (IA) et voyage mental. Dans une étude, les auteurs s'intéressent à l'oubli catastrophique, un problème des algorithmes qui, après avoir appris de nouvelles tâches, oublie les anciennes [44]. Pour résoudre cela, les auteurs proposent d'utiliser des connaissances sur les processus mentaux chez l'Homme pour améliorer les algorithmes d'IA. Ainsi, les algorithmes dotés d'une mémoire d'attention hiérarchique, qui divise le passé en fragments et ne se concentre que sur les plus pertinents, surpassent les autres. Ainsi, faire voyager les machines dans leurs « souvenirs », en naviguant dans le temps et l'espace sans sollicitations extérieures, devient possible.

Inversement, l'IA est aussi utilisée pour mieux comprendre la perception humaine du temps. Des chercheurs ont utilisé des réseaux neuronaux artificiels pour analyser comment les humains perçoivent le temps à partir de vidéos [45]. Les variations d'activité du réseau neuronal en fonction des scènes naturelles reproduisent des biais subjectifs humains, comme la distinction entre des scènes urbaines et des moments de détente. Certains réseaux conversationnels (comme ChatGPT) commencent à intégrer des fonctionnalités historiques, permettant de simuler une forme de mémoire artificielle qui pourrait servir de base à des voyages mentaux temporels.

Les pistes de recherche

S'abstraire du présent pour voyager dans l'espace et le temps ne semble pas être une propriété exclusive du cerveau humain mais une faculté plutôt élémentaire, partagée par grand nombre de mammifères. Comme c'est le cas pour la lecture chez l'être humain, le cerveau recycle des propriétés fondamentales comme la reconnaissance de formes [46] ; ainsi, le voyage mental pourrait être une façon d'exploiter une caractéristique fondamentale à des fins de planification, de prise de décision ou, de façon plus inattendue, de création. Les études consacrées à ce qu'il est convenu d'appeler l'activité de repos du cerveau, et au DMN, dans ses différentes déclinaisons cliniques, permettent d'envisager d'identifier des signatures psychopathologiques spécifiques de chacun de ces états. Le voyage mental de la personne atteinte de schizophrénie [47] ou de dépression [48] est singulier et probablement spécifique. Le voyage mental pourrait constituer à la fois un marqueur diagnostique et une cible thérapeutique. Car les cerveaux au repos ne se reposent jamais [49]. La compréhension du voyage mental chez l'Homme pourrait bénéficier à celle des machines, et *vice-versa*, passant de l'un à l'autre et en se renforçant à chaque passage. Et si les agents conversationnels grand public, tels que ChatGPT, admettent pour l'instant ne pas voyager mentalement à la manière humaine, des changements importants seront à prévoir lorsqu'ils commenceront à s'endormir en rêvant de moutons électriques [50]. ♦

SUMMARY

The shifting territories of mental travel

How does experience outside the present moment become part of living matter? Mental travel, which is both creative and low-carbon, is an experience that anyone can enjoy without needing to abstract from immediacy and project themselves beyond reality. The possibility of such a virtual journey has long fascinated philosophers and then scientists. What does mental travel actually involve? Which neural circuits are engaged? What are the conditions that take us on a hallucinatory journey, deprive us of it, or enable us to control it? What are the adaptive advantages of this imaginary journey? Is it present in other living beings and in our "intelligent" machines? ♦

LIENS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article

RÉFÉRENCES

1. Céline L. *Voyage au bout de la nuit*. Paris : Denoël et Steele, 1932.
2. Stépanoff C. *L'animal et la mort*. Paris : La Découverte, 2021.
3. La Fontaine J. *Fable 9, Livre VII*. Paris : LGF 2002, 1678.
4. Chen YY, Areti A, Yoshor D, Foster BL. Perception and memory reinstatement engage overlapping face-selective regions within human ventral temporal Cortex. *J Neurosci* 2024 ; 44.
5. Seshamani S, Blazejewska AI, McKown S, et al. Detecting default mode networks in utero by integrated 4D fMRI reconstruction and analysis. *Hum Brain Mapp* 2016 ; 37 : 4158-78.
6. Mantini D, Gerits A, Nelissen K, et al. Default mode of brain function in monkeys. *J Neurosci* 2011 ; 31 : 12954-62.
7. Mandino F, Vrooman RM, Foo HE, et al. A triple-network organization for the mouse brain. *Mol Psychiatry* 2022 ; 27 : 865-72.
8. Sierakowiak A, Monnot C, Aski SN, et al. Default mode network, motor network, dorsal and ventral basal ganglia networks in the rat brain : comparison to human networks using resting state-fMRI. *PLoS One* 2015 ; 10 : e0120345.
9. Perovnik M, Rus T, Schindlbeck KA, Eidelberg D. Functional brain networks in the evaluation of patients with neurodegenerative disorders. *Nat Rev Neurol* 2023 ; 19 : 73-90.
10. Das A, de Los Angeles C, Menon V. Electrophysiological foundations of the human default-mode network revealed by intracranial-EEG recordings during resting-state and cognition. *Neuroimage* 2022 ; 250 : 118927.
11. Andelman F, Hoofien D, Goldberg I, et al. Bilateral hippocampal lesion and a selective impairment of the ability for mental time travel. *Neurocase* 2010 ; 16 : 426-35.
12. Ciarrelli E, Anelli F, Frassinetti F. An asymmetry in past and future mental time travel following vmPFC damage. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2021 ; 16 : 315-25.
13. Gauthier B, Pestke K, van Wassenhove V. Building the arrow of time... over time : a sequence of brain activity mapping imagined events in time and space. *Cereb Cortex* 2019 ; 29 : 4398-414.
14. Schurr R, Nitzan M, Eliahou R, et al. Temporal dissociation of neocortical and hippocampal contributions to mental time travel using intracranial recordings in humans. *Front Comput Neurosci* 2018 ; 12 : 11.
15. Karahanoglu FI, Van De Ville D. Transient brain activity disentangles fMRI resting-state dynamics in terms of spatially and temporally overlapping networks. *Nat Commun* 2015 ; 6 : 7751.
16. Vidaurre D, Smith SM, Woolrich MN. Brain network dynamics are hierarchically organized in time. *Proc Natl Acad Sci USA* 2017 ; 114 : 12827-32.
17. Descroix E, Charavel M, Swiatkowski W, Graff C. Spontaneous eye-blinking rate from pre-term to six-months. *Cogent Psychology* 2015 ; 2 : 1091062.

18. Descroix E, Swiatkowski W, Graff C. Blinking while speaking and talking, hearing and listening. Communication and individual underlying process. *J Nonverbal Behav* 2022 ; 1-26.
19. Duranton C, Jeannin S, Bedossa T, Gaunet F. La mémoire autobiographique/épisodique : le chien, un modèle d'étude ? *Med Sci (Paris)* 2017 ; 33 : 1089-95.
20. Laplane D, Dubois B. Auto-Activation deficit : a basal ganglia related syndrome. *Mov Disord* 2001 ; 16 : 810-4.
21. Pagonabarraga J, Kulisevsky J, Strafella AP, Krack P. Apathy in Parkinson's disease : clinical features, neural substrates, diagnosis, and treatment. *Lancet Neurol* 2015 ; 14 : 518-31.
22. Charland-Verville V, Thonnard M, Dehon H, et al. La phénoménologie de souvenirs d'expériences de mort imminente peut-elle être comparée à celle de souvenirs d'événements réels et imaginés ? *Med Sci (Paris)* 2014 ; 30 : 246-8.
23. Vicente R, Rizzuto M, Sarica C, et al. Enhanced Interplay of Neuronal Coherence and Coupling in the Dying Human Brain. *Front Aging Neurosci* 2022 ; 14 : 813531.
24. Blanchin M. *Quand vous pensiez que j'étais mort, mon quotidien dans le coma*. Paris : Futuropolis, 2015.
25. Bauby JD. *Le scaphandre et le papillon*. Paris : Robert Laffont, 1997.
26. Brandmeyer T, Delorme A. Meditation and the Wandering Mind : A Theoretical framework of underlying neurocognitive mechanisms. *Perspect Psychol Sci* 2021 ; 16 : 39-66.
27. Hasenkamp W, Barsalou LW. Effects of meditation experience on functional connectivity of distributed brain networks. *Front Hum Neurosci* 2012 ; 6 : 38.
28. Belardi A, Chaieb L, Rey-Mermet A, et al. On the relationship between mind wandering and mindfulness. *Sci Rep* 2022 ; 12 : 7755.
29. Taren AA, Gianaros PJ, Greco CM, et al. Mindfulness meditation training alters stress-related amygdala resting state functional connectivity : a randomized controlled trial. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2015 ; 10 : 1758-68.
30. Cooper AC, Ventura B, Northoff G. Beyond the veil of duality—topographic reorganization model of meditation. *Neurosci Consciousness* 2022 ; 1-22.
31. Baud S. L'ingestion d'ayahuasca parmi les populations indigènes et métisses de l'actuel Pérou. Une définition du chamanisme amazonien. *Ethnographiques Org* 2008 ; 15.
32. Studerus E, Kometer M, Hasler F, FX V. Acute, subacute and long-term subjective effects of psilocybin in healthy humans : a pooled analysis of experimental studies. *J Psychopharmacol* 2011 ; 25 : 1434-52.
33. Studerus E, Gamma A, Vollenweider FX. Psychometric evaluation of the altered states of consciousness rating scale (OAV). *PLoS One* 2010 ; 5 : e12412.
34. Dittrich A. The standardized psychometric assessment of altered states of consciousness (ASCs) in humans. *Pharmacopsychiatry* 1998 ; 31 : 80-4.
35. Milliere R. Looking for the Self : Phenomenology, neurophysiology and philosophical significance of drug-induced ego dissolution. *Front Hum Neurosci* 2017 ; 11 : 245.
36. Milliere R, Carhart-Harris RL, Roseman L, et al. Psychedelics, Meditation, and Self-Consciousness. *Front Psychol* 2018 ; 9 : 1475.
37. Nour MM, RL CH. Psychedelics and the science of self-experience. *Br J Psychiatry* 2017 ; 210 : 177-79.
38. Luppi AI, Craig MM, Pappas I, et al. Consciousness-specific dynamic interactions of brain integration and functional diversity. *Nat Commun* 2019 ; 10 : 4616.
39. Siegel JS, Subramanian S, Perry D, et al. Psilocybin desynchronizes the human brain. *Nature* 2024 ; 632 : 131-8.
40. Yeshurun Y, Nguyen M, Hasson U. The default mode network : where the idiosyncratic self meets the shared social world. *Nat Rev Neurosci* 2021 ; 22 : 181-92.
41. Madsen MK, Stenbaek DS, Arvidsson A, et al. Psilocybin-induced changes in brain network integrity and segregation correlate with plasma psilocin level and psychedelic experience. *Eur Neuropsychopharmacol* 2021 ; 50 : 121-32.
42. Lai C, Tanaka S, Harris TD, Lee AK. Volitional activation of remote place representations with a hippocampal brain-machine interface. *Science* 2023 ; 382 : 566-73.
43. Lampiden A, Chan SC, Banino A. Towards mental time travel : a hierarchical memory for reinforcement learning agents. *Arxivorg/abs/210514039* 2021.
44. Roseboom W, Fountas Z, Nikiforou K, et al. Activity in perceptual classification networks as a basis for human subjective time perception. *Nat Commun* 2019 ; 10 : 267.
45. Dehaene S. *Les Neurones de la lecture*. Paris : Odile Jacob, 2007.
46. Sasabayashi D, Takahashi T, Takayangi Y, et al. Resting state hyperconnectivity of the default mode network in schizophrenia and clinical high-risk state for psychosis. *Cerebral Cortex* 2023 ; 33 : 8456-64.
47. Yan CG, Chen X, Li L, et al. Reduced default mode network functional connectivity in patients with recurrent major depressive disorder. *Proc Natl Acad Sci USA* 2019 ; 116 : 9078-83.
48. Deco G, Jirsa V, McIntosh AR. Resting brains never rest : computational insights into potential cognitive architectures. *Trends Neurosci* 2013 ; 36 : 268-74.
49. Dick P. *Do androids dream of electric sheep?* New York : Doubleday, 1968.
50. Girn M, Mills C, Roseman L, et al. Updating the dynamic framework of thought : Creativity and psychedelics. *Neuroimage* 2020 ; 213 : 116726.

TIRÉS À PART
M. Dojat



m/s
médecine/sciences

**Avec m/s, vivez en direct
les progrès et débats
de la biologie et de la médecine**

CHAQUE MOIS / AVEC LES ARTICLES DE RÉFÉRENCE DE M/S
CHAQUE JOUR / SUR WWW.MEDECINESCIENCES.ORG

Abonnez-vous sur
www.medecinesciences.org