

corticaux de la voie ventrale susceptibles de s'activer inconsciemment. Nous avons en effet observé que des mots masqués sont traités par le gyrus fusiforme, une partie du cortex inférieur temporal.

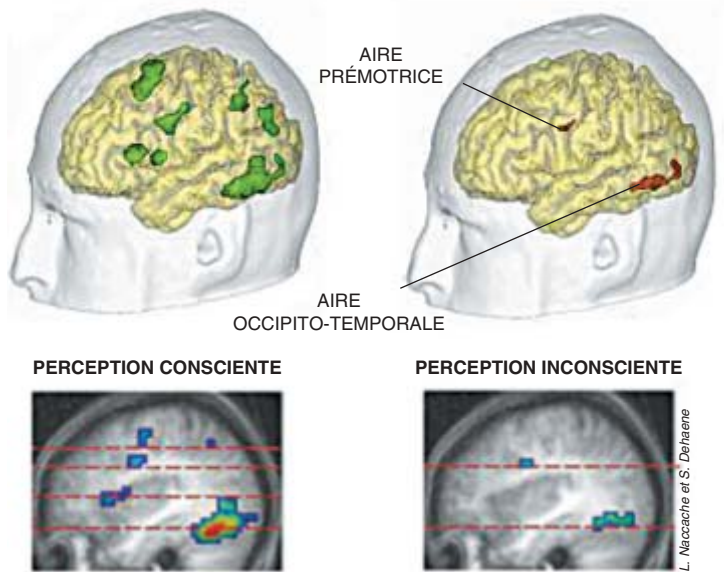
Dans cette étude, nous avons comparé les régions cérébrales activées par la lecture d'un mot visible à celles activées par la perception inconsciente du même mot (voir la figure 5). Les mots masqués activent un réseau d'aires cérébrales impliquées dans la perception visuelle des mots ainsi que dans leur probable codage phonologique (programmation de la prononciation du mot). En revanche, certaines régions cérébrales pariétales et frontales ne sont activées que lorsque le mot est consciemment perçu.

## Corrélatés cérébraux

On constate ainsi que l'hypothèse théorique d'une dichotomie entre, d'une part, des processus perceptifs visuels conscients associés au fonctionnement de la voie visuelle ventrale, et, d'autre part, des processus inconscients sous-tendus par la voie visuelle dorsale, ne résiste pas à des résultats tels ceux que nous venons de décrire. La voie visuelle ventrale peut être le siège d'activations correspondant à des processus cognitifs de haut niveau qui échappent à notre conscience. Elle n'est pas, en soi, le «centre» de notre conscience visuelle. Lorsque les activations de la voie ventrale sont associées à une expérience consciente, elles semblent bénéficier d'une amplification d'intensité remarquable, et surtout d'une mise en activité et d'une corrélation avec le fonctionnement d'autres régions cérébrales plus distantes.

Nous venons de décrire certains corrélats de la perception des images subliminales. Toutefois, le corrélat des phénomènes d'amorçage est demeuré énigmatique jusqu'à la découverte, au cours des années 1990, de Robert Desimone, du Laboratoire de neuropsychologie de l'Institut américain de la santé mentale, et d'Earl Miller, du Département cerveau et sciences cognitives de l'Institut de technologie du Massachusetts. Ils ont mis en évidence le phénomène neuronal de «suppression par la répétition» dans des enregistrements cellulaires de neurones du cortex inféro-temporal du singe. Ainsi, lorsqu'un même stimulus visuel est présenté plusieurs fois, l'activité neuronale évoquée par ce stimulus diminue progressivement dans certains neurones. En outre, lorsque le même stimulus est présenté en faisant varier de nombreux paramètres, telle sa taille ou sa position spatiale, l'activité de ces neurones diminue de la même façon. Autrement dit, ce phénomène semble être la signature du niveau de codage neuronal utilisé par telle ou telle région. Par la suite, grâce à des expériences d'amorçage réalisées chez l'homme par neuro-imagerie, on a observé de telles diminutions d'activité neuronale dans de nombreuses régions du cerveau, par exemple le cortex occipito-temporal, le cortex insulaire, le cortex pariétal ou le cortex préfrontal, ainsi que le thalamus et les autres noyaux gris centraux. Le phénomène de suppression par la répétition semble un phénomène cérébral qui résulte des spécificités du codage des neurones.

Désormais, l'effet de suppression par la répétition sert à déterminer comment le cerveau code l'information perçue. En déterminant quels sont les neurones, qui, soumis à un stimulus, présentent cet effet, on découvre les aires qui traitent ce stimulus. Connaissant la fonction de ces aires, on en déduit comment le stimulus est codé : cette méthode permet d'explorer le code neuronal chez l'homme. Nous l'avons



**5. LA PERCEPTION SUBLIMINALE D'UN MOT active un petit nombre de régions cérébrales de la voie visuelle ventrale spécialisées dans l'analyse de la forme visuelle des mots, ainsi qu'une région plus antérieure probablement impliquée dans la programmation de la prononciation du mot. Lorsque ce même mot est lu consciemment, l'activité neuronale de ces régions est bien plus intense et, surtout, elle s'accompagne de la co-activation d'un vaste réseau reproductible d'aires cérébrales (sur les images inférieures, l'activation augmente du bleu au rouge).**

utilisée pour déterminer où sont traités les chiffres amorces dans l'expérience de comparaison numérique (chiffres inférieurs ou supérieurs à 5) déjà décrite. Nous avons mis en évidence qu'il existe un effet de suppression par la répétition dans les essais où le nombre amorce et le nombre cible sont identiques. Cet effet ne dépend pas de la notation utilisée pour présenter l'amorce et la cible. Nous avons découvert que les nombres amorces sont traités par une région du cortex connue pour coder les nombres sous une forme abstraite : celle de la quantité qu'ils représentent.

Nous avons aussi utilisé cette méthode afin d'étudier les bases cérébrales de la représentation visuelle des mots. Nous avons demandé aux sujets de classer des mots cibles en objets naturels (par exemple, lion) et en objets manufacturés (par exemple, radio). Un mot amorce masqué précède le mot cible, et il est présenté soit en lettres minuscules, soit en lettres majuscules. D'un point de vue comportemental, les sujets répondent plus rapidement aux mots cibles précédés par un mot amorce identique (comme on s'y attend), que le mot soit écrit en majuscules ou en minuscules. En IRM fonctionnelle, nous avons observé un effet de suppression par la répétition dans une aire inféro-temporale gauche, connue depuis les travaux anatomo-cliniques du neurologue français Déjerine (XIX<sup>e</sup> siècle), pour jouer un rôle clé dans le décodage de stimulus constitués de chaînes de lettres (c'est l'aire de la forme visuelle des mots).

Cet effet de suppression par la répétition est indépendant des caractères utilisés : il correspond à l'effet d'amorçage comportemental observé. Ainsi, il semble que, lorsqu'un processus cognitif est à l'œuvre (par exemple, la représentation d'une chaîne de caractères sous la forme d'un mot), c'est toujours le même module neuronal qui fonctionne, que l'on ait ou non conscience de ce processus. Le traitement du stimulus perçu emprunte le même chemin que la perception soit consciente ou inconsciente.

En revanche, deux points différencient l'expérience consciente de l'expérience inconsciente du point de vue

**NOUVEAU**

**L'Histoire des Sciences dans la collection Belin Sup**

**La science du mouvement**  
*De Galilée à Lagrange*  
• Michel BLAY  
• 332 pages  
• Code 003076  
• 16,90 €

À travers un passionnant voyage dans la littérature des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, découvrez les principales étapes conceptuelles de la science du mouvement et des notions qui la caractérisent, telles la vitesse, l'accélération, la force ou la quantité de mouvement, notions aujourd'hui couramment utilisées par tout physicien.

**La mécanique statistique**  
*De Clausius à Gibbs*  
• Anouk BARBEROUSSE  
• 240 pages  
• Code 003073  
• 16,90 €

L'émergence des concepts-clés de la physique statistique, tels la température, l'entropie ou les ensembles de Gibbs, est le fruit des relations complexes entre la mécanique newtonienne, la thermodynamique, la théorie cinétique des gaz et la mécanique statistique. Cet ouvrage présente l'analyse de ces liens à l'aide d'une large sélection de documents originaux.

Bon de commande page 97

www.editions-belin.com

**BELIN**

neuronal : le niveau d'activation de la région cérébrale considérée et l'activation conjointe d'un vaste réseau d'aires cérébrales. Quand la perception est consciente, l'amplitude du signal est élevée et durable, et de nombreuses autres aires cérébrales sont activées simultanément.

## Esquisse d'un modèle de la conscience

D'après les données expérimentales disponibles aujourd'hui, nous pouvons dégager plusieurs concepts théoriques importants, dont l'ensemble constitue déjà l'esquisse d'une théorie physiologique de la conscience. Plusieurs cadres théoriques ont été récemment proposés qui ne sont pas contradictoires, mais qui insistent chacun sur certains aspects de cette physiologie de la conscience.

Nous avons développé, avec Jean-Pierre Changeux, du Collège de France, et Michel Kerszberg, de l'Institut Pasteur, un modèle qualifié d'«espace de travail global conscient». Il est fondé sur les considérations suivantes : de nombreux processus cognitifs opèrent à tout moment sans que nous en élaborions la moindre expérience consciente ; l'attention est une condition nécessaire, mais non suffisante, à la prise de conscience (les effets d'amorçage inconscients varient avec l'attention volontaire) ; enfin, la conscience semble requise pour la réalisation d'un certain nombre de tâches cognitives, dont celles qui réclament le maintien durable et explicite de l'information, la création de nouvelles combinaisons d'opérations mentales élémentaires, ou celles qui sont associées à la production spontanée de comportements intentionnels.

D'un point de vue neuronal, ces propriétés psychologiques pourraient être régies par les principes d'organi-

sation cérébrale suivants : à chaque instant, les nombreux processeurs cérébraux spécialisés dans notre cerveau traitent l'information en parallèle sans que nous en ayons conscience. Une information traitée par l'un de ces processeurs n'accéderait à notre conscience que si son activité neuronale était mobilisée, par un mécanisme d'amplification attentionnelle, en un état d'activité cohérent à longue distance, qui permettrait de mettre cette information à disposition d'un vaste réseau de neurones interconnectés et distribués dans tout le cerveau. Cette «connectivité à longue distance» des neurones appartenant à l'espace de travail global permettrait, lorsqu'ils sont actifs pendant une durée minimale, de rendre l'information d'un processeur particulier accessible à une grande variété de processus cognitifs, telles la catégorisation, la mémorisation à long terme, l'évaluation, la prise de décision et l'action volontaire. Ce modèle envisage ainsi l'espace neuronal sous-tendant la conscience comme un espace à géométrie variable et dynamique, puisque le même processeur peut parfois fonctionner de manière modulaire et inconsciente, et parfois en relation avec le reste de l'espace de travail global.

Cette accessibilité globale de l'information correspondrait à ce dont nous faisons l'expérience lorsque nous affirmons «être conscient» de quelque chose. D'un point de vue anatomique, certaines régions cérébrales, tels le cortex préfrontal, le cingulum antérieur et les aires qui leur sont connectées, seraient impliquées dans le substrat neuronal direct de cet espace de travail conscient. De nombreuses questions théoriques et philosophiques peuvent être abordées sur la base de ce modèle, et surtout soumises à l'épreuve critique de l'expérimentation qui permettra de réviser, parfaire et préciser cette première esquisse.

Lionel NACCACHE, neurologue et neurophysiologiste à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, est membre de l'Unité INSERM U562 Neuro-imagerie cognitive dirigée par Stanislas DEHAENE, au Service hospitalier Frédéric Joliot, à Orsay.

S. DEHAENE, M. KERSZBERG et J.-P. CHANGEUX, *A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks*, in *Proceeding National Academy of Sciences*, n° 95, pp. 14529-14534, 1998.

S. DEHAENE et L. NACCACHE, *Towards a cognitive neuroscience of conscious-*

*ness : basic evidence and a workspace framework*, in *Cognition*, vol. 79 (1-2), pp. 1-37, 2001.

S. DEHAENE et al., *Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming*, in *Nat. Neurosci.*, vol. 4 (7), pp. 752-8, 2001.

L. NACCACHE, *La perception subliminale des nombres : propriétés psychologiques et imagerie cérébrale fonctionnelle de processus cognitifs inconscients*. Thèse de Neurosciences, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, Paris, 2002.

# Apprentissage et conscience

**AXEL CLEEREMANS • ARNAUD DESTREBECQZ**

*Nous utilisons sans cesse des connaissances conscientes et inconscientes. La cognition impliquerait un continuum d'états aboutissant à deux états déterminés – conscient ou non conscient ; l'apprentissage nous permettrait d'évoluer d'une extrémité à l'autre du spectre.*

**N**os connaissances s'étendent généralement bien au-delà de ce que nous sommes capables d'exprimer. Rouler à vélo, jouer au tennis, ou encore conduire une voiture sont autant de compétences qui exigent la maîtrise d'habiletés (de savoir-faire) complexes que nous ne saurions expliciter dans toutes leurs nuances. Pourquoi? Parce que notre comportement est souvent partiellement, voire complètement, dissocié de notre capacité à exprimer les connaissances sur lesquelles il est fondé. De telles dissociations s'observent non seulement dans le domaine de l'action, mais aussi dans celui de la cognition. Quelle serait notre pratique des langues si nous ne parlions qu'en fonction de la grammaire que nous maîtrisons? De nombreux locuteurs sont incapables de formuler les règles de grammaire que leurs énoncés respectent. Cette dissociation concerne d'abord notre langue maternelle : enfants, nous avons appris à maîtriser le langage naturel sans prendre nécessairement conscience de sa construction. De même, la maîtrise de tâches aussi diverses que le jeu d'échecs, le diagnostic médical ou encore la résolution de problèmes mettent en jeu des connaissances intuitives qui semblent échapper à l'introspection.

À l'inverse, nous surestimons souvent nos connaissances et affirmons souvent ce que nous devrions, tout au plus, seulement supposer. Ainsi, les comptes rendus que nous élaborons sur notre propre comportement reflètent autant des mécanismes de reconstruction et d'interprétation de la réalité qu'une véritable introspection. Les psychologues américains Nisbett et Wilson ont proposé aux clients d'un supermarché de désigner la «meilleure paire» de collants parmi quatre paires parfaitement identiques. Tous les sujets interrogés ont identifié une paire de «qualité supérieure» ; cette réponse stéréotypée révéla notamment l'influence de la position des objets présentés. La paire qui se trouvait à droite, celle que les sujets interrogés examinaient instinctivement en dernier, fut choisie plus souvent que les autres. Priés de motiver leurs choix, les clients nièrent que la position de la paire sélectionnée ait pu les influencer.

Aujourd'hui, ces dissociations entre conscience et comportement sont très étudiées en psychologie cognitive. Leur étude occupe une place centrale dans les recherches contemporaines sur la conscience (notamment sous la forme du vaste programme de recherche consacré aux «corrélats neuraux de la conscience», c'est-à-dire aux supports neuronaux de la conscience), dans la mesure où leur existence même soulève de nombreuses questions sur le rôle de la pensée consciente dans le traitement de l'information. L'étude

de la conscience passe ainsi nécessairement par une compréhension des rapports entre conscient et non conscient. Le traitement de l'information est-il nécessairement accompagné d'une expérience subjective? Certains aspects de la cognition peuvent-ils se dérouler sans conscience? Les spécialistes des neurosciences tentent de répondre à ces questions sur le rôle de la conscience dans le traitement de l'information par le cerveau de diverses façons. Toutes impliquent la mise en opposition de comportements avec et sans conscience. Pour préciser les liens entre conscient et non conscient, nous examinerons les mécanismes de l'apprentissage implicite. Après avoir évoqué les méthodes utilisées dans ces recherches en psychologie cognitive, nous tenterons de répondre à diverses questions, par exemple peut-on apprendre sans le savoir? Comment concevoir le rôle de la conscience dans l'apprentissage à la lumière des recherches consacrées à l'apprentissage implicite, c'est-à-dire sans conscience?

## L'apprentissage implicite

L'existence de l'apprentissage implicite est confortée par de nombreuses observations qui mettent en évidence la plasticité de la structure cérébrale. Tout apprentissage laisse en effet des traces détectables dans l'organisation des circuits neuronaux responsables des comportements appris : on a ainsi montré que l'hippocampe (un noyau cérébral essentiel dans les phénomènes de mémorisation) des chauffeurs de taxi londoniens est plus volumineux que celui des sujets qui n'ont pas besoin de mémoriser la géographie complexe de la ville.

C'est le psychologue américain Arthur Reber, de l'Université de New York, qui fut le pionnier de l'étude de l'apprentissage implicite en psychologie cognitive. Reber menait des expériences d'apprentissage de grammaires artificielles, au cours desquelles il demandait à des volontaires de mémoriser des séquences de lettres sans signification : TVPVPX, par exemple. À l'issue de cette première phase, il les informait que les séquences mémorisées respectaient certaines «règles de grammaire», et qu'ils devaient décider, lors de la présentation de nouvelles séquences, si celles-ci suivaient ces règles ou non. Ignorant tout des règles utilisées, les volontaires déclaraient qu'ils ne pourraient jamais réussir le test. Pourtant, tous les volontaires réussissaient mieux que ne pouvait l'expliquer le hasard. La répétition de ces expériences avec de nombreux volontaires confirma qu'ils avaient bien acquis les connaissances nécessaires pour produire une réponse correcte, mais sans parvenir à formuler ou à décrire

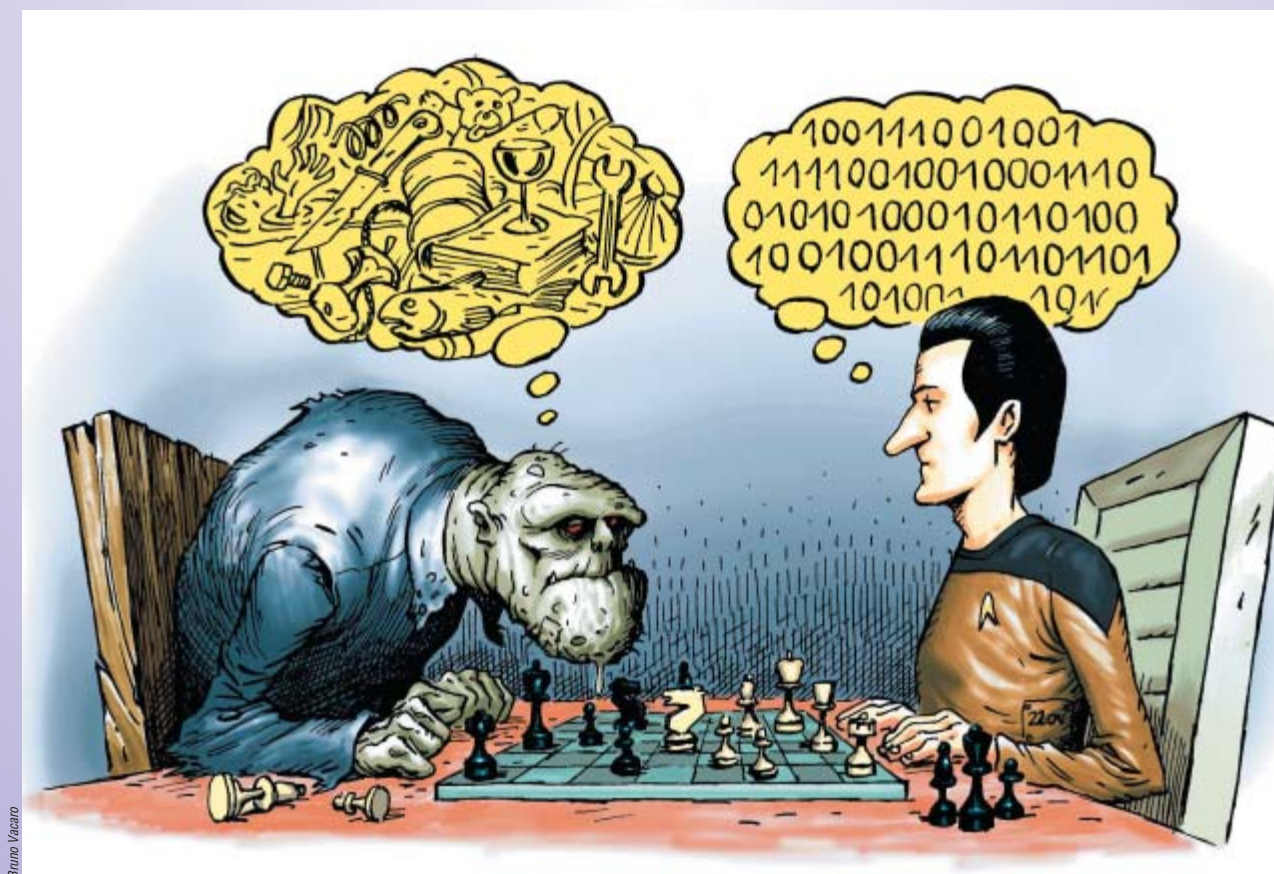
## Théories *Data* contre théories *Zombie*

**Q**uels rapports la conscience entretient-elle avec l'inconscient? Pour tenter de comprendre ce que sont les traitements conscients et non conscients de l'information, encore faut-il poser le cadre des définitions possibles de la conscience. En caricaturant, on peut schématiser les positions théoriques extrêmes des psychologues sur la conscience en opposant les théories *Zombie* et les théories *Data* (du nom du robot androïde de la série *Star Trek, The Next Generation*).

Selon les tenants des théories *Zombie*, le conscient et l'inconscient sont enracinés dans deux systèmes distincts, mais de complexités équivalentes. L'inconscient serait, en quelque sorte, structuré comme le conscient, mais sans conscience. D'après cette conception, nous serions habités d'une sorte de «zombie» inconscient, qui gouvernerait notre comportement à notre insu. Sa faiblesse est de supposer l'inconscient structuré comme le conscient. En d'autres termes, les représentations mentales, qu'elles soient accessibles à la conscience ou non, ne changeraient ni dans leur forme ni dans leur capacité à influencer le comportement. Dans cette perspective, la conscience en tant que telle n'a aucune fonction particulière. L'intelligence artificielle classique tombe dans le même travers quand elle propose des modèles du traitement de l'information qui confondent traitement conscient et traitement non conscient. On suppose, par exemple, que le problème que doit résoudre mon cerveau quand il s'agit de déterminer comment déplacer mon bras pour atteindre une cible donnée dans l'espace est exactement de même nature que de déterminer quelle est la meilleure stratégie à adopter dans une partie d'échecs. Il en est peut-être ainsi, mais une telle perspective ignore le fait que je suis conscient de la plupart des étapes du raisonnement que je tiens quand je joue aux échecs, alors qu'il me

serait impossible d'expliquer comment je parviens à exécuter avec précision un mouvement complexe sans aucun effort conscient et sans aucun raisonnement.

**L**es tenants des théories *Data* ont adopté une perspective inverse, qui vise à éliminer d'emblée la question de la conscience et de ses rapports avec l'inconscient. Pour eux, le traitement de l'information est soit exclusivement neuronal (c'est-à-dire biologique, à la façon des mécanismes digestifs, par exemple) soit conscient. L'inconscient en tant que lieu où prendrait place un traitement cognitif inaccessible à la conscience n'a donc pas sa place dans un tel système. La cognition serait dès lors transparente (accessible à l'introspection) à l'image de *Data*. Ce robot humanoïde semble tout savoir de son propre fonctionnement, sauf dans de rares circonstances, qui sont systématiquement décrites comme des dysfonctionnements. Ainsi, *Data* peut décrire avec précision combien de neurones artificiels sont actifs à un moment donné dans son cerveau, indiquer exactement quelle est la pression qu'il doit exercer pour ouvrir une porte bloquée, ou encore réciter sans hésitation n'importe quel poème de Shakespeare. Outre cette vaste mémoire sémantique et procédurale, *Data* dispose également d'une mémoire épisodique parfaite : il a un accès instantané et infailible à l'ensemble des expériences qu'il a vécues. *Data* est conscient, et même exclusivement conscient. Aucun contenu cognitif n'échappe à son introspection ; *Data* n'a pas d'inconscient. Une telle position théorique semble difficilement défendable. Si tout traitement cognitif s'accompagne de conscience, cette dernière n'a pas plus de fonction dans les théories *Data* que dans les théories *Zombie*, puisque ni l'une ni l'autre n'attribue de fonction à la conscience.



Bruno Vacaro

ces connaissances. Autrement dit, ils apprennent implicitement, sans intention, et sans que les connaissances acquises ne puissent être exprimées verbalement.

Toutefois, l'interprétation de ces résultats fut controversée en raison des difficultés méthodologiques et conceptuelles que pose l'étude de l'apprentissage implicite. Il faut, par exemple, s'assurer que nos mesures de la conscience et nos mesures de l'apprentissage mettent bien en jeu les mêmes informations. Cela pose problème dans la situation de Reber, parce qu'on a montré que les sujets n'ont pas besoin de connaître les règles de la grammaire pour trier les séquences de lettres mieux que ne le prédirait le hasard. S'ils ignorent les règles appliquées, rien d'étonnant, dès lors, qu'ils soient incapables de les énoncer.

Sachant que l'on ne peut éteindre la conscience d'une personne comme on souffle une bougie, la séparation des connaissances conscientes et non conscientes pose de nombreuses difficultés méthodologiques qui ne peuvent pas toutes être résolues par l'étude des images cérébrales. Lors de nos expériences, nous prenons toutes les précautions possibles en sachant qu'une tâche, quelle qu'elle soit, impliquera nécessairement des processus conscients et des processus non conscients. Dans une série d'expériences récentes, nous avons voulu tester l'idée que la prise de conscience est un processus graduel qui demande du temps. Nous allons d'abord examiner les expériences dont nous nous sommes inspirés, puis divers résultats expérimentaux qui suggèrent que le temps disponible pour traiter une information détermine le degré avec lequel les connaissances acquises sont disponibles aux processus de contrôle et à la conscience.

## Apprentissage de séquences

Pour étudier l'apprentissage implicite, nous avons choisi des protocoles fondés sur l'étude du « temps de réaction sériel » lors de l'apprentissage de séquences, tels que les ont décrits initialement les psychologues Mary Jo Nissen et Peter Bullemer, de l'Université du Minnesota. Dans ce type de test, on fait apparaître un objet (le stimulus) sur l'écran d'un ordinateur ; le stimulus peut apparaître à l'une des quatre

positions (repérées par de petits traits) situées sur une ligne horizontale sur l'écran. Les sujets doivent appuyer sur un clavier d'ordinateur pour indiquer la position qui s'est affichée. Ils ignorent que le stimulus ne se déplace pas de façon aléatoire, mais qu'il répète une séquence de 12 positions (par exemple, 123413214243). On observe qu'au cours du test, les temps de réaction des sujets diminuent progressivement. Cette amélioration peut être attribuée en partie au développement d'une expertise sensorielle et motrice (le sujet détecte plus vite le stimulus et appuie plus vite sur le clavier) indépendante de la présence de séquences régulières, mais elle tient aussi à l'émergence d'une sensibilité à la répétition des séquences. En effet, si l'on modifie la séquence au cours de la tâche (sans en avertir les participants), les temps de réaction augmentent (alors que l'expertise sensorielle et motrice est déjà développée). Ainsi, les participants ont effectivement acquis, au cours de l'entraînement, des connaissances relatives à la façon dont le stimulus se déplace sur l'écran ; les sujets préparent la réponse appropriée avant même que le stimulus suivant n'apparaisse (voir la figure 1). Or, si l'on interroge les sujets à propos des connaissances qu'ils ont acquises, il arrive souvent qu'ils nient avoir appris quoi que ce soit. C'est donc que l'apprentissage était implicite.

Notons que cette interprétation soulève une difficulté : elle suppose que l'incapacité à verbaliser des connaissances implique qu'elles sont non conscientes. Il est néanmoins possible qu'une personne ne parvienne pas à verbaliser un savoir dont pourtant elle a conscience : les connaissances pertinentes auraient pu être oubliées, ou tellement faibles que le sujet considère qu'elles ne valent pas la peine d'être décrites. Pour cette raison, nombre de psychologues ont introduit des tâches à choix forcé (non verbaux) dans les études de l'apprentissage implicite, par exemple, des tests de reconnaissance où l'on demande aux sujets s'ils ont appris une séquence particulière : ils doivent répondre par oui ou par non. Quand de tels tests sont utilisés, la majorité des expériences a montré que les volontaires peuvent effectuer ces tâches à choix forcé sans pour autant verbaliser les régularités de la séquence de stimulus. Beaucoup en avaient conclu qu'en fait, l'apprentissage était explicite dans ces

3 2 1 4 2 4 3 | 1 2 3 4 1 3 2 1 4 2 4 3 | 1 3 2 1 4 2 4 3 | 1 2 3 4 1 3 2 1 4 2 4 3 | 4 1 3 2 1 4 2 4 3 | 1 2 1 2 3 4 2 1 2 4 2 1 | 2 3



**1. LES EFFETS DE L'APPRENTISSAGE NON-CONSCIENT** ont été démontrés dans les expériences d'apprentissage de séquences : on fait apparaître sur un écran d'ordinateur un point noir, dont on doit, le plus rapidement possible, identifier la position en appuyant sur l'une de quatre touches d'un clavier (à gauche). Les positions successives du stimulus suivent toujours la même séquence, ce que les volontaires ignorent. Les positions successives de la cible sont représentées ici dans la bande surmontant les images, mais les sujets ne la voient pas. Au fil

de l'entraînement, les volontaires réagissent de plus en plus vite (au milieu, le temps de réponse est passé de 500 millisecondes, au début, à 300). Si l'on change, sans les prévenir, la séquence d'apprentissage (indiquée dans la bande, à droite), on constate que le temps de réaction s'allonge (600 millisecondes). On déduit de ces expériences que les sujets acquièrent des connaissances non conscientes sur la séquence de défilement du point. Ces connaissances sont non conscientes, puisqu'ils ne peuvent énoncer les séquences de défilement.

Afin de mettre en évidence l'influence du temps sur les processus conscients, nous avons adapté l'expérience de M. J. Nissen et P. Bullemer (*voir la figure 2*). Nous avons confronté une vingtaine d'étudiants de l'Université de Bruxelles, âgés de 18 à 26 ans et répartis en deux groupes, à des tâches d'apprentissage de séquences légèrement différentes. Assis face à un écran d'ordinateur, les étudiants guettaient l'apparition d'un petit cercle noir sur l'une de quatre positions possibles. Ils signalaient sa position en appuyant sur une touche du clavier (une touche par position sur l'écran). Comme dans l'exemple précédent, la séquence de positions n'était pas aléatoire. Nous avons supposé que la réduction du laps de temps qui sépare le moment où ils répondent au stimulus présent sur l'écran et le moment où apparaît le stimulus suivant devrait influencer sur l'émergence de connaissances conscientes. Dans le premier groupe, chaque stimulus était présenté 250 millisecondes après la réponse précédente, tandis que, dans le deuxième groupe, chaque réponse était immédiatement suivie d'un nouveau stimulus. Les résultats de notre expérience montrent que, quel que soit l'intervalle de temps qui sépare la réponse du stimulus suivant, tous les sujets «apprennent» les régularités des séquences auxquelles ils sont exposés. Les sujets pour qui 250 millisecondes séparent la réponse du stimulus suivant répondent plus rapidement que ceux pour lesquels le stimulus suivant suit immédiatement la réponse précédente, mais tous répondent plus lentement quand on remplace subrepticement la séquence d'entraînement par une autre. Quelle est alors la différence entre les connaissances acquises par les deux groupes? Pour le savoir, nous avons comparé les performances de chaque groupe lors de tâches d'«inclusion» et d'«exclusion».

Ces tâches jouent un rôle central dans la procédure de «dissociation des processus» élaborée par le psychologue Larry Jacoby, en 1991 (*voir la figure 3*). Sa méthode est fondée sur l'idée que toute tâche implique à la fois des connaissances implicites et des connaissances explicites. La procédure de dissociation permet de comparer une même performance dans deux conditions expérimentales qui diffèrent seulement par les instructions données aux sujets. Dans la condition d'inclusion, on demande aux sujets de produire une séquence qui ressemble le plus possible à la séquence à laquelle ils ont été exposés lors de l'entraînement. On évalue la performance des sujets en comptant le nombre d'éléments produits qui font partie de la séquence d'entraînement. Dans cette situation d'inclusion, la performance peut être influencée tant par des connaissances conscientes que par des connaissances non conscientes, et les deux influences (implicite et explicite) contribuent conjointement à améliorer la performance. En revanche, dans la situation d'exclusion, on demande aux sujets de produire une séquence aussi différente que possible de la séquence d'entraînement. Dans cette situation, les influences explicites et

Toutefois, la conclusion diffère quand on examine les résultats obtenus en exclusion, c'est-à-dire quand on demande aux sujets de produire une séquence aussi différente que possible de la séquence d'entraînement. En effet, dans cette situation, seuls les sujets ayant été entraînés avec un intervalle de 250 millisecondes entre la réponse et le stimulus suivant sont capables d'éviter de produire une séquence qui ressemble à la séquence d'entraînement. Les autres (entraînés sans intervalle) produisent des séquences qui contiennent beaucoup



d'éléments provenant de la séquence d'entraînement, comme s'ils étaient incapables d'éviter leur production. Ainsi, ces derniers sujets seraient incapables de contrôler consciemment les connaissances acquises. Confrontés ensuite à un test de reconnaissance où l'on demande de décider si oui ou non une séquence de trois éléments fait partie de la séquence d'entraînement, seuls les sujets entraînés avec un intervalle réponse-stimulus de 250 millisecondes se sont révélés capables de répondre correctement. Les sujets entraînés avec un intervalle réponse-stimulus nul semblent donc acquérir des connaissances qui ne peuvent s'exprimer que dans le contexte de la tâche d'entraînement elle-même. Cette expérience montre que l'on peut acquérir des connaissances sans parvenir à les contrôler ni à décider si oui ou non on a été confronté à ces stimulus auparavant.

Nous avons ensuite allongé l'intervalle qui sépare chaque réponse du stimulus suivant. Les résultats ont confirmé que plus cet intervalle augmente, plus les performances des sujets augmentent. Nous avons notamment observé que lorsque l'intervalle était fixé à 1 500 millisecondes, les sujets étaient non seulement capables de contrôler l'expression de leurs connaissances, mais pouvaient également évaluer eux-mêmes leur performance sur une échelle de 0 à 100 : en effet, les sujets ayant obtenu les meilleurs scores

étaient également ceux qui se considéraient comme les plus performants. Ce n'était pas le cas lorsque l'intervalle était de 250 millisecondes seulement : les sujets n'évaluaient pas correctement leur capacité à suivre les instructions.

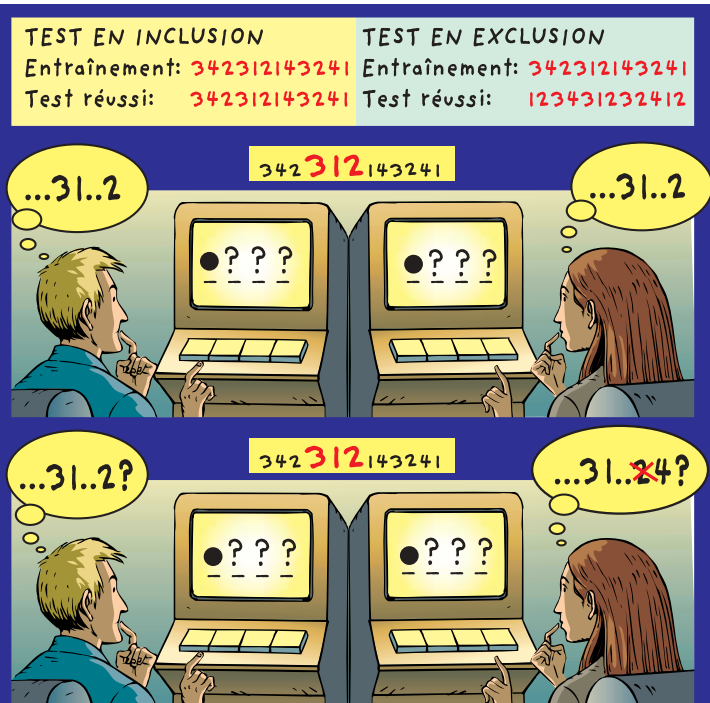
Comment concevoir le rôle de la conscience dans l'apprentissage à la lumière de ces résultats? Avant de répondre à cette question, il nous semble essentiel de rappeler les deux positions théoriques les plus répandues parmi les psychologues quant aux relations entre la conscience et l'inconscient. Nommée théorie *Zombie*, la première accorde à l'inconscient un rôle aussi souverain que celui de la conscience : siège de véritables processus cognitifs, il serait capable de nous diriger, à notre insu. La seconde théorie, nommée théorie *Data*, nie toute fonction à l'inconscient dans le traitement de l'information : nos connaissances sont soit purement neuronales (c'est-à-dire non cognitives), soit forcément accessibles à la conscience (voir l'encadré page 103).

Notre conception de la conscience s'oppose aux deux précédentes, car elle est dynamique : le temps y joue un rôle central. Nous postulons que les contenus de notre conscience sont le produit d'un apprentissage qui prend du temps et qu'une fois produits, ils déterminent à leur tour ce que nous sommes capables d'apprendre. Ainsi, apprentissage et capacité à apprendre déterminent la conscience, laquelle agit sur la capacité d'apprentissage. Les expériences décrites confirment ce rôle clé du temps dans le phénomène de prise de conscience. Les résultats nous conduisent à concevoir la conscience non plus comme une propriété statique associée à certains états neuronaux, mais plutôt comme une dimension continue et graduelle produite par le traitement de l'information. En d'autres termes, il existe des niveaux de conscience, qui sont atteints progressivement au cours du développement et de l'apprentissage.

## La conscience est un phénomène graduel

Comment sont-ils atteints? Notre conception de la conscience se fonde sur l'idée que plusieurs grandeurs caractérisent simultanément un processus d'apprentissage et que l'on peut analyser leurs relations d'après la qualité des représentations mentales sous-jacentes (voir la figure 4). Pour nous, la qualité d'une représentation mentale est une grandeur regroupant diverses propriétés «lisibles» sur les images du cerveau, telles que leur intensité (proportionnelle au nombre de neurones actifs), leur stabilité dans le temps (le réseau neuronal activé par une certaine stimulation l'est plus ou moins longtemps) et leur spécificité (un réseau activé est spécifique d'une certaine tâche ou stimulation). Notons que chacune de ces propriétés a déjà été proposée comme corrélat possible de la conscience. Nous postulons que les représentations mentales ont trois propriétés fondamentales : leur efficacité, c'est-à-dire leur capacité à influencer sur le comportement ; leur stabilité dans le temps, c'est-à-dire le degré avec lequel l'efficacité d'une représentation donnée est contrôlée ; enfin leur disponibilité à la conscience, c'est-à-dire le degré avec lequel une représentation donnée peut contribuer aux contenus de notre expérience subjective.

Nous estimons que toute représentation mentale, qu'elle soit de bonne ou de mauvaise qualité, est potentiellement efficace, c'est-à-dire capable d'influencer sur le comportement. Les représentations les plus faibles ont peu d'influence. C'est, par exemple, le cas de celles que produisent les phénomènes d'«amorçage» (une impression fugace – subliminale –



**3. LES EXPÉRIENCES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION** distinguent la cognition implicite de l'explicite. Dans les tests d'inclusion (*en haut*), les sujets doivent reproduire la séquence d'entraînement (*au-dessus des ordinateurs*) par groupe de trois chiffres. Auparavant, les deux groupes s'étaient entraînés dans des conditions différentes : un groupe (*à droite*) disposait durant l'entraînement de 250 millisecondes entre une réponse et le stimulus (le point noir) suivant, tandis que l'autre groupe (*à gauche*) ne disposait d'aucun délai (chaque réponse était immédiatement suivie d'un nouveau stimulus). Le premier stimulus est, par exemple, en position 1. Dans les tâches d'inclusion, les volontaires doivent donner la réponse suivante dans la séquence (ici 2). Les deux groupes réussissent aussi bien. Au contraire, dans les tests d'exclusion (*en bas*), les volontaires doivent s'efforcer de donner une réponse différente de celle qui suit dans la séquence (ici, tout sauf 2). Seuls ceux qui ont bénéficié d'un délai (*à droite*) réussissent. Les autres ne parviennent pas à «chasser» la séquence d'entraînement. Le groupe de droite est «plus conscient» de ses connaissances «non-conscientes».

nous influence), qui caractérisent la cognition implicite. En revanche, nos représentations les plus fortes deviennent progressivement irrépressibles. C'est, par exemple, le cas de celles qui nous animent lorsque nous avons automatisé une tâche : nous avons alors conscience de ce que nous faisons, mais nous le faisons trop vite pour que l'activité mentale correspondante ne comprenne pas une part de réflexe.

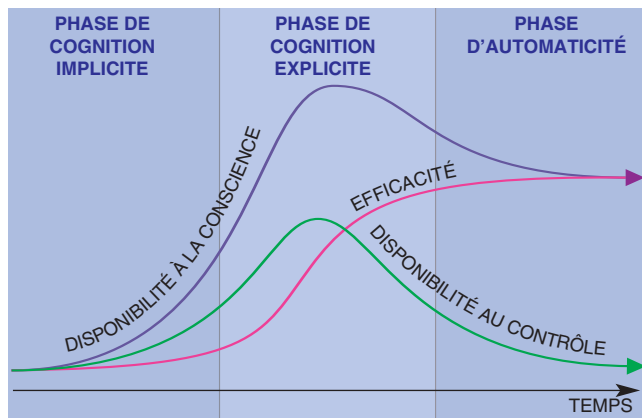
Ensuite, nous pensons que le développement de représentations de haute qualité prend du temps, et ce, à plusieurs niveaux. Ainsi, il nous faut du temps pour traiter un stimulus, du temps pour accomplir un apprentissage complet, du temps pour développer nos capacités cognitives. Pour autant, nous ne pouvons arrêter l'émergence progressive de représentations de haute qualité, dont la création relève d'un processus d'adaptation irrépressible et qui accompagne obligatoirement tout traitement de l'information. Dans cette perspective, tant les représentations les plus faibles que les représentations les plus fortes échappent au contrôle cognitif : ni les unes, ni les autres ne sont disponibles à la conscience, mais pour des raisons différentes. Les représentations de faible qualité ne sont pas disponibles à la conscience, précisément parce qu'elles sont trop faibles. Quant aux représentations les plus fortes, tout en constituant le contenu de notre conscience, elles sont peu disponibles au contrôle cognitif et par là-même au comportement, car elles sont le résultat d'un mode de traitement de l'information irrépressible, mis en jeu par un processus d'adaptation. Ainsi, notre théorie impose une nouvelle dissociation, entre automaticité et disponibilité à la conscience. Lorsque nous avons appris à faire quelque chose au point de pouvoir l'accomplir «les yeux fermés», les représentations mentales associées à une telle activité sont, en fait, disponibles à la conscience, mais d'une façon atténuée.

## Vers une théorie de la conscience

Nous pensons que la disponibilité à la conscience dépend tant de la qualité des représentations que de leur disponibilité aux processus de contrôle du comportement. Ceci sous-entend que les contenus de notre conscience sont déterminés, à tout instant, par l'ensemble des représentations qui sont à la fois suffisamment fortes pour influencer sur le comportement et qui n'ont pas encore évolué suffisamment pour qu'un contrôle sur leurs effets ne soit plus nécessaire. Ainsi, dans notre conception, la conscience a bien une fonction claire : elle rend possible un contrôle flexible et adapté des représentations formées au cours des apprentissages.

Si notre conception de la conscience et des rapports étroits d'interdépendance entre conscience et apprentissage est la bonne, alors, il est illusoire de tenter de caractériser les états de conscience par un unique corrélât cérébral. En revanche, on peut essayer d'identifier précisément la nature des différents processus qui interviennent dans le traitement conscient de connaissances.

Dans cette optique plus restreinte, les régions du cerveau dont l'activité est associée à la mise en œuvre de processus contrôlés devraient refléter des cas de traitement conscient de l'information. Nous avons ainsi adapté la procédure de dissociation des processus dans le cadre d'une étude par tomographie par émission de positons. À nouveau, nous avons procédé à une expérience d'apprentissage de séquences comprenant une phase d'entraînement suivie d'une tâche de génération en inclusion et en exclusion. Le débit sanguin cérébral des sujets fut mesuré au



**4. UNE TÂCHE D'APPRENTISSAGE** serait caractérisée par trois grandeurs. D'abord, nous apprenons sans nous en rendre compte : durant cette période de cognition implicite, ce que nous apprenons est peu disponible pour la conscience (*courbe bleue*), notre efficacité (*courbe rose*) est faible, tout comme notre capacité à contrôler notre comportement lorsque nous effectuons la tâche apprise (*courbe verte*). Durant la phase de cognition explicite, ces performances s'améliorent pour atteindre un maximum. Quand l'apprentissage est terminé, l'efficacité avec laquelle nous accomplissons la tâche apprise se stabilise. La disponibilité à la conscience diminue pour se stabiliser aussi. Notre capacité à contrôler la tâche diminue : la tâche a été automatisée.

cours des tâches d'inclusion et d'exclusion (rappelons que l'accomplissement d'une tâche en inclusion dépend à la fois de processus implicites et explicites). La comparaison de l'activité cérébrale au cours de ces deux types de tâches permet d'isoler les régions qui sous-tendent exclusivement les processus contrôlés du traitement de l'information. Les résultats ont mis en évidence l'importance de la région frontale médiale et du cortex cingulaire dont le débit sanguin varie en proportion des performances, et ce d'autant plus que la génération d'une séquence a lieu en inclusion plutôt qu'en exclusion. Cette étude suggère que cette région joue un rôle central dans le traitement conscient de l'information dans la mesure où la mise en œuvre de processus contrôlés reflète l'accès à la conscience des connaissances acquises. Dans de futures études, nous tenterons d'identifier les corrélats neuronaux des autres processus impliqués dans le traitement conscient de l'information, tels ceux mis en jeu lors de l'utilisation de tâches d'auto-évaluation de la performance. L'exploration des interactions des processus impliqués dans le traitement conscient de l'information et de ceux qui sous-tendent le traitement non conscient de l'information révélera peut-être les corrélats de la conscience.

Axel CLEEREMANS est maître de recherches au FNRS (Fonds national de la recherche scientifique, en Belgique) et professeur à l'Université libre de Bruxelles. Arnaud DESTREBECQZ est chargé de recherches au FNRS.

Mary Jo NISSEN et Peter BULLEMER, *Attentional requirements of learning : Evidence from performance measures*, in *Cognitive Psychology*, vol. 19, pp. 1-32, 1987.

Lary JACOBY, *A process dissociation framework : Separating automatic from intentional uses of memory*, in *Journal of Memory and Language*, vol. 30, pp. 513-541, 1991.

Arnaud DESTREBECQZ et Axel CLEEREMANS, *Can sequence learning be implicit? New evidence with the Process Dissociation Procedure*, in *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 8(2), pp. 343-350, 2001.

# La conscience du temps

**ANTONIO DAMASIO**

*Parfois une seconde semble interminable ; parfois une année s'écoule sans que nous en ayons conscience. Quelques structures cérébrales semblent essentielles à la perception, à l'apprentissage et à la mémorisation de la chronologie des événements.*

*L'homme n'a point de port, le temps n'a point de rive ;  
Il coule et nous passons !  
Premières méditations poétiques, le Lac, Lamartine*

**C**haque matin, le réveil marque le début de la journée, qui est rythmée par les réunions, les rendez-vous, le déjeuner, tous prévus à une heure précise. Nous coordonnons nos propres activités avec celles des personnes que nous côtoyons, parce qu'implicitement nous nous référons à un système unique de mesure du temps, fondé sur la course inexorable du Soleil. Au cours de l'évolution, les humains ont acquis une «horloge biologique» réglée sur l'alternance de la lumière et de l'obscurité. Cette horloge, localisée dans l'hypothalamus, gouverne le «temps du corps». Un autre temps, le «temps de l'esprit», se réfère à la façon dont nous percevons le temps qui passe et dont nous construisons nos repères temporels. Malgré le rythme immuable de l'horloge, le temps nous semble parfois passer très vite et, parfois, très lentement. Cette variabilité est perçue à des échelles de temps différentes, de la décennie, à l'année, à la saison, à la journée, à l'heure, voire à la seconde. Nous replaçons aussi les événements dans le temps, en décidant quand ils sont survenus, dans quel ordre, et combien de temps ils ont duré, que ce soit toute une vie ou quelques secondes.

On ignore comment se façonnent les relations entre le temps de l'esprit et l'horloge biologique du temps corporel. Le temps de l'esprit dépend-il seulement d'une horloge interne ? Nos expériences des durées et de la chronologie reposent-elles uniquement sur un traitement cérébral de l'information ? Dans ce cas, le temps de l'esprit serait déterminé par l'attention que nous accordons aux événements et par les émotions que nous ressentons quand ils surviennent. Il serait aussi influencé par la façon dont ces événements sont enregistrés et par les circonstances de leur réactivation.

## La mémoire du temps

Je me suis d'abord intéressé aux questions posées par le «traitement du temps», en étudiant des personnes atteintes de divers troubles neurologiques. Quand les lésions touchent les régions du cerveau impliquées dans l'apprentissage et dans le rappel des faits nouveaux, les patients ont des difficultés à replacer les événements passés dans leur époque et à en reconstituer la chronologie. En outre, ces amnésiques perdent la notion du temps qui passe et ne font

plus la différence entre une heure, un mois, un an, dix ans. En revanche, leur horloge biologique reste souvent correcte, ainsi que leur perception et la chronologie des très courtes durées (inférieures à une minute). L'étude de ces patients révèle que le traitement du temps et certains types de mémoire partagent certaines voies neurologiques.

L'association entre l'amnésie et le temps devient évidente dans les cas de lésions permanentes de l'hippocampe (une région du cerveau essentielle pour la mémoire) et du lobe temporal (cette région permet à l'hippocampe de communiquer avec le reste du cortex cérébral). Des lésions dans l'hippocampe empêchent la formation de nouveaux souvenirs, indispensable à la construction de notre propre chronologie. Nous construisons notre «fil du temps» événement par événement, et nous connectons les événements personnels à ceux qui surviennent autour de nous. Quand l'hippocampe est lésé, les patients deviennent incapables d'enregistrer les faits nouveaux pendant plus d'une minute environ, de sorte qu'ils se dissolvent rapidement. Ces patients sont atteints d'amnésie antérograde.

Toutefois, les souvenirs que l'hippocampe aide à créer ne sont pas stockés dans cette aire cérébrale. Ils sont répartis dans des réseaux neuronaux localisés dans diverses régions du cortex cérébral (dont le lobe temporal) qui dépendent du type d'informations enregistrées : les aires dédiées aux impressions visuelles, aux informations sonores, tactiles, par exemple. Ces réseaux doivent être activés tant au moment du stockage du souvenir, qu'au moment de sa réactivation lors de la remémoration. Quand ils sont détruits, les patients n'ont plus accès aux souvenirs anciens : c'est l'amnésie rétrograde. Les souvenirs les plus détériorés par l'amnésie rétrograde sont justement ceux qui portent une marque temporelle : des souvenirs d'événements particuliers, survenus dans un contexte spécifique, lors d'une occasion spéciale. Le souvenir du jour de son mariage porte, par exemple, une étiquette temporelle. D'autres anomalies de la mémorisation résultent de lésions du lobe temporal, qui entoure l'hippocampe et qui joue aussi un rôle essentiel dans la construction et dans le rappel de ce type de souvenirs (le mariage, par exemple).

**1. LA CONSCIENCE DU TEMPS varie d'une personne à l'autre selon les circonstances qui accompagnent les événements vécus. Plusieurs structures cérébrales, notamment l'hippocampe, le cerveau basal antérieur et les lobes temporaux, interviendraient dans notre perception du «temps de l'esprit».**

Chez les patients présentant des lésions du lobe temporal, des années et même des dizaines d'années de souvenirs autobiographiques peuvent être irrémédiablement perdus. L'encéphalite virale, les accidents vasculaires cérébraux et la maladie d'Alzheimer sont les principales causes de ces lésions graves. Pour l'un de ces patients, que nous avons étudié depuis 25 ans, le «trou temporel» remonte presque au berceau. À l'âge de 46 ans, il a subi des lésions de l'hippocampe et de certaines parties du lobe temporal et, depuis, il souffre à la fois d'amnésie antérograde et d'amnésie rétrograde : il ne peut pas former de nouveaux souvenirs et il ne peut plus se rappeler les anciens. Il vit dans un perpétuel présent, incapable de se souvenir ce qui s'est produit il y a une minute ou il y a 20 ans.

En fait, il n'a aucune conscience du temps qui passe. Il ne peut pas nous dire la date, et quand on lui demande de

la deviner, il peut répondre aussi bien 1942 que 2013. Il peut deviner l'heure ou la saison lorsqu'il regarde par la fenêtre, car il se fonde sur la lumière et sur les ombres, mais privé de montre ou de fenêtre, il ne fait aucune différence entre le matin et le soir, le jour et la nuit ; son horloge biologique ne lui est d'aucune aide. Il ne se souvient pas de son âge.

Parmi ses quelques souvenirs, il est sûr d'avoir été marié et d'être le père de deux enfants, mais quand s'est-il marié ? Quand ses enfants sont-ils nés ? Il l'ignore. Il ne parvient pas à se replacer dans le déroulement temporel de sa vie familiale. Il a effectivement été marié, mais sa femme a divorcé il y a plus de 20 ans. Ses enfants sont mariés depuis longtemps et ont eux-mêmes des enfants.

Comment le cerveau associe-t-il un événement à un instant donné et comme replace-t-il cet événement dans un contexte chronologique – ou dans le cas de ce patient,



pourquoi n'y parvient-il pas? Nous l'ignorons. Nous savons seulement que la mémoire des faits et la mémoire des relations spatiales et temporelles entre ces faits y participent toutes les deux. Avec Daniel Tranel et Robert Jones, de l'Université de l'Iowa, nous avons étudié comment s'établit un fil temporel autobiographique. En observant des personnes atteintes de différentes sortes d'altérations de la mémoire, nous espérons identifier quelle région (ou quelles régions) du cerveau sert à replacer des souvenirs à la bonne époque.

Nous avons sélectionné quatre groupes de participants, 20 personnes au total. Les patients du premier groupe étaient atteints d'une amnésie causée par une lésion du lobe temporal. Ceux du deuxième groupe souffraient d'une amnésie due à une lésion du cerveau basal antérieur (une autre aire impliquée dans la mémoire). Les patients du troisième groupe n'étaient pas amnésiques, et présentaient des lésions du cerveau, mais ces dernières n'étaient pas localisées dans

le lobe temporal ni dans le cerveau basal antérieur. Enfin, dans le quatrième groupe, nous avons sélectionné des témoins, qui n'avaient aucun problème neurologique, avaient une mémoire normale, un âge et un niveau d'éducation comparables à ceux des personnes des trois autres groupes.

Chaque participant a rempli un questionnaire détaillé sur les événements marquants de leur vie. Nous les avons interrogés sur leurs parents, leurs enfants et leur famille, sur leurs études, leurs amis, leurs activités professionnelles, puis nous avons vérifié la véracité de leurs réponses avec leurs proches et avec diverses sources. Nous avons aussi consigné quels étaient les événements historiques (élections, guerres, catastrophes naturelles, notamment) dont ils se souvenaient. Ensuite nous avons demandé à chaque participant de placer une carte décrivant un des événements personnels ou publics qui avaient été décrits sur un tableau où les années du XX<sup>e</sup> siècle figuraient, année par année, ou décennie par

## Où est située la conscience du temps ?

### Le cerveau basal antérieur

Une lésion localisée dans cette aire n'empêche pas le patient de se souvenir de certains événements, mais l'empêche de se rappeler le moment où ils ont eu lieu : cette région jouerait un rôle essentiel dans l'identification de la chronologie des événements.

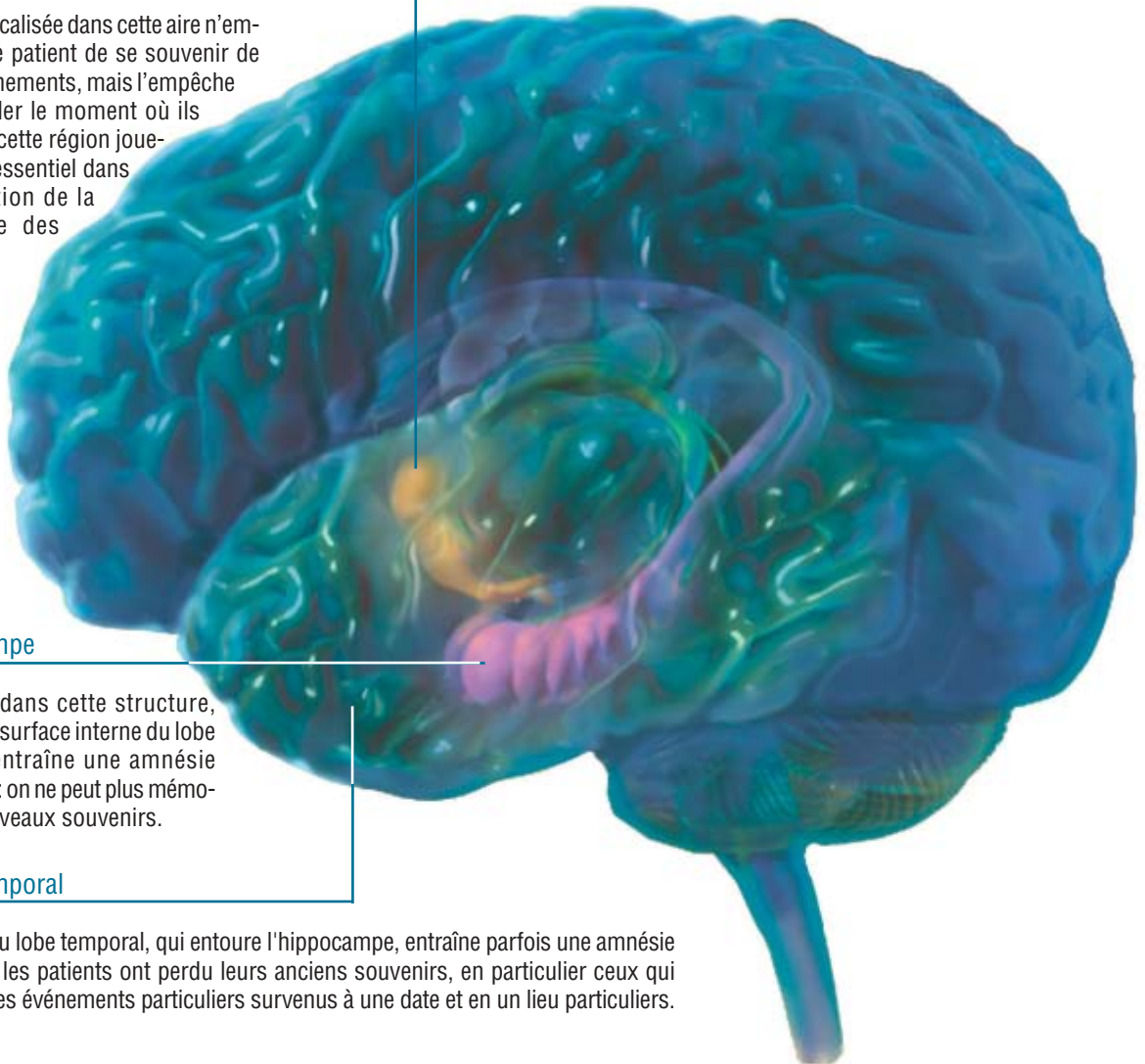
### L'hippocampe

Une lésion dans cette structure, située sur la surface interne du lobe temporal, entraîne une amnésie antérograde : on ne peut plus mémoriser de nouveaux souvenirs.

### Le lobe temporal

Une lésion du lobe temporal, qui entoure l'hippocampe, entraîne parfois une amnésie rétrograde : les patients ont perdu leurs anciens souvenirs, en particulier ceux qui sont liés à des événements particuliers survenus à une date et en un lieu particuliers.

**Diverses études réalisées sur des personnes ayant des lésions cérébrales suggèrent que des structures du lobe temporal et du cerveau antérieur basal jouent des rôles importants dans le stockage et le rappel d'informations liées au moment où surviennent les événements et à l'ordre chronologique dans lequel ils se déroulent.**



décennie, sur une ligne horizontale. Les participants avaient l'impression de jouer au «jeu de la vie», tandis que nous évaluions la précision de leur repérage temporel.

Comme prévu, les témoins ont mieux réussi que les patients amnésiques : ils ne se trompaient que de 1,9 an en moyenne. Les patients amnésiques faisaient beaucoup plus d'erreurs, surtout ceux qui souffraient d'une lésion du cerveau antérieur basal. Bien qu'ils se souviennent parfaitement de l'événement, ils se trompaient sur la date de 5,2 ans en moyenne. Toutefois leurs résultats étaient meilleurs que ceux des patients dont le lobe temporal était lésé, qui pourtant se trompaient moins quant au repérage temporel : ils se trompaient seulement de 2,9 ans en moyenne. On déduit de ces résultats que le repérage temporel et la remémoration des événements reposent sur des structures cérébrales ou sur des mécanismes différents. Qui plus est, le cerveau antérieur basal serait indispensable à l'établissement du contexte qui nous permet de replacer les souvenirs à la bonne époque, ce qui est en accord avec l'observation clinique des patients dont le cerveau antérieur basal est lésé. Contrairement aux personnes dont le lobe temporal est endommagé, ces patients peuvent encore mémoriser des faits nouveaux, mais ils s'en souviennent dans le désordre, reconstruisant des séquences d'événements qui peuvent changer d'une occasion à l'autre.

## La conscience à retardement

La plupart d'entre nous ne sont pas confrontés aux amnésies ou aux confusions chronologiques dont souffrent mes patients. Pourtant nous partageons tous un étrange décalage temporel mental, mis pour la première fois en évidence dans les années 1970 par le neurophysiologue Benjamin Libet, de l'Université de San Francisco. Dans une expérience, B. Libet remarqua qu'il existait un décalage entre le moment où un individu prenait conscience d'avoir décidé de plier son doigt (B. Libet enregistrait le moment précis de cette décision) et l'instant où les ondes cérébrales indiquaient que la flexion était imminente. L'activité cérébrale survenait un tiers de seconde avant que la personne n'ait décidé de bouger son doigt. Dans une autre expérience, B. Libet appliqua une faible décharge électrique sur le cortex de patients trépanés, anesthésiés localement, mais conscients. Le tremblement de la main déclenché par ce stimulus se produisait une demi-seconde après l'application du stimulus. Bien que l'interprétation de ces expériences et d'autres expériences menées dans le domaine de la neurobiologie de la conscience soit sujette à controverse, le travail de B. Libet montre qu'il existe un décalage entre le début des événements neuronaux aboutissant à la conscience et le moment où l'on est réellement conscient des conséquences de ces événements neuronaux.

Quelles peuvent être les causes de ce décalage ? Il faut du temps pour que les changements physiques constituant un événement se répercutent sur l'organisme et modifient l'état des détecteurs sensoriels d'un organe, par exemple la rétine. Il faut du temps pour que les modifications électrochimiques qui en résultent soient transmises, sous forme de signaux électriques, au système nerveux central. Il faut du temps pour engendrer un motif neural dans les cartes sensorielles du cerveau. Enfin, il faut du temps pour relier la carte neurale d'un événement et l'image mentale de cet événement à la carte neurale et à l'image de soi – c'est-à-dire à la notion de qui nous sommes – l'étape ultime sans laquelle l'événement ne sera jamais perçu consciemment.

Tout cela ne prend que quelques millisecondes, mais il y a néanmoins un décalage. Pourquoi nous ne sommes-nous pas conscients de ce décalage ? Peut-être parce que nous avons tous des cerveaux similaires qui fonctionnent de la même façon : nous avons tous une conscience «retardée», mais personne ne s'en aperçoit ! Ce pourrait être une interprétation parmi d'autres. Peut-être le cerveau instaure-t-il ses propres connexions lors du traitement central des événements et peut-être parvient-il à «antidater» certains événements : certains processus retardés apparaîtraient moins retardés et des processus présentant des décalages différents sembleraient être retardés de la même façon.

Cela expliquerait pourquoi nous avons l'impression que le temps et l'espace sont continus, alors même que nos yeux se déplacent d'un objet à l'autre par saccades. Nous ne remarquons ni le flou dû au mouvement des yeux ni le temps qu'ils leur faut pour se déplacer d'un endroit à un autre. Selon Patrick Haggard et John Rothwell, à Londres, le cerveau perçoit la cible près de 120 millisecondes avant que l'on n'ait conscience de l'objet, ce qui assure une vision continue. La capacité du cerveau à adapter nos expériences visuelles et à nous «faire croire» que nous avons pris une décision, alors même que les neurones correspondant à cette action sont déjà activés, indique une extrême précision temporelle.

## Les émotions distordent le temps

Cette précision semble parfois mise à mal : certaines émotions distordent notre perception du temps. Chacun a fait l'expérience de minutes qui paraissent interminables et de semaines qui passent trop vite. Quand nous sommes mal à l'aise ou inquiets, nous trouvons que le temps passe lentement, car nous nous focalisons sur les images «négatives» associées à notre anxiété. Diverses études ont montré que le cerveau produit des images plus rapidement quand nous vivons une expérience «positive» : c'est peut-être pourquoi le temps passe vite lorsque nous nous amusons. Au contraire, le rythme de production des images ralentit lors des émotions «négatives». J'ai récemment éprouvé un ralentissement étonnant du temps : j'étais à bord d'un avion et nous avons traversé une zone de fortes turbulences. Mon attention était focalisée sur les secousses – émotion «négative» – au point que le temps m'a semblé s'être arrêté. Ainsi, notre perception du temps est fondée sur des facteurs aussi variés que le contenu des événements perçus, les réactions émotionnelles déclenchées par ces événements, le rythme des images qui défilent ainsi que les perceptions conscientes ou inconscientes qui les accompagnent. Nous ne comprenons encore pas très bien comment nous percevons le temps, mais nous commençons à entrevoir pourquoi notre perception et notre conscience du temps dépendent tant des circonstances.

---

Antonio DAMASIO dirige le Département de neurologie de l'Université de l'Iowa, et il est professeur à l'Institut Salk d'Études biologiques de La Jolla.

A. DAMASIO, *L'erreur de Descartes*, Odile Jacob, 1997.

A. DAMASIO, *Le sentiment même de soi : Corps, émotion, conscience*, Odile Jacob, 1999.

A. DAMASIO, *Looking for Spinoza : Joy, Sorrow and the Feeling Brain*, Odile Jacob, à paraître.

---

# La synesthésie : entendre en couleurs

**JEFFREY GRAY**

*Certaines personnes ont une capacité naturelle à voir des couleurs quand ils entendent certains mots. La nature biologique de cette étonnante capacité a été élucidée : elle résulte de la convergence de plusieurs voies sensorielles, normalement séparées.*

*A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu : voyelles,  
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :  
A, noir corset velu de mouches éclatantes  
Qui bombinent autour des puanteurs cruelles  
Golfes d'ombres ; E, candeurs des vapeurs et des tentes,  
Lances des glaciers fiers, rois blancs, frissons d'ombrelles ;  
I, pourpres, sang craché, rire des lèvres belles  
Dans la colère ou les ivresses pénitentes...  
Les voyelles, Arthur Rimbaud*

**D**ans son poème, Athur Rimbaud évoquait un phénomène cher aux poètes de son temps, la synesthésie : des sons ou des mots, par exemple, font naître des sensations visuelles colorées. Ce phénomène est-il une simple invention poétique, une création de l'imagination ou, au contraire, une association physiologique extraordinaire ? Grâce aux techniques d'imagerie cérébrale, nous avons étudié certaines personnes chez qui cette caractéristique atteint un degré étonnant. Chez les «synesthètes naturels», l'association de mots et de couleurs dépasse notablement les associations que nous faisons parfois entre un mot et une teinte : ce n'est pas une madeleine de Proust colorée. Ces personnes voient réellement leur champ visuel se colorer de rouge en entendant le mot «escalier», ou de jaune en entendant le mot «liberté» : différents niveaux de conscience se mêlent et se superposent.

Nous avons étudié les régions du cerveau actives lors de telles associations, et nous avons découvert qu'une zone du cortex habituellement consacrée à la perception visuelle est activée par les nerfs auditifs, sans doute par le biais d'une connexion supplémentaire acquise de façon héréditaire. Une telle connexion pose des questions fondamentales sur les relations entre fonctions comportementales et états conscients.

## Une audition colorée

Chez un synesthète, ne présentant par ailleurs aucun autre trouble, la stimulation d'une modalité sensorielle provoque systématiquement la manifestation d'une sensation dans une autre modalité. Le mot vient du grec *syn* (avec) et *aïsthésis* (sensation). Les sens associés sont très variés : des sons peuvent

évoquer des couleurs ; des saveurs, des formes ; des couleurs, des odeurs ; la souffrance ou un orgasme sexuel peuvent évoquer des couleurs. Les types de synesthésie les plus courants sont ceux où des mots ou des nombres, qu'ils soient lus ou entendus, font apparaître des couleurs. Les synesthètes sont relativement rares : une personne sur 2 000 serait concernée, mais les estimations varient. Il y a environ six fois plus de femmes synesthètes que d'hommes. Dans une même famille, on trouve souvent plusieurs synesthètes, et la transmission se ferait par la mère. Tous décrivent leurs expériences de synesthésie comme remontant aussi loin que leurs plus lointains souvenirs. Si certains n'osent pas en parler, beaucoup apprécient leurs expériences de synesthésie. D'aucuns se prétendent synesthètes, mais sont des fabulateurs. Certains artistes, que ce soient des peintres, des écrivains ou des musiciens, ont affirmé avoir des expériences de synesthésie. Rimbaud, par exemple, malgré les qualités de son poème, cherchait des associations évocatrices, mais n'était pas synesthète. Par ailleurs, la plupart des artistes revendiquant leur synesthésie sont de sexe masculin... alors que la majorité des synesthètes sont des femmes ! Il existe bien sûr d'authentiques artistes synesthètes, tels le romancier Vladimir Nabokov. L'actuelle présidente de l'Association américaine de synesthésie, Carol Steen, est peintre et fait un excellent usage de ses expériences de synesthésie.

En 1907, Francis Galton, précurseur de la psychologie moderne, en fit une description détaillée : «Cette tendance est très héréditaire», et deux synesthètes ne s'accordent jamais «sur la couleur qu'ils associent au même mot». En 1993, Simon Baron-Cohen et ses collègues de l'Institut de psychiatrie de Londres ont démontré la fiabilité des associations entre des mots et des couleurs : on lisait une liste de mots à des personnes et on leur demandait de décrire la couleur qu'ils associaient à ces mots. À un an d'écart, ils décrivaient exactement les mêmes couleurs en association à ces mots (ils ignoraient qu'ils seraient à nouveau testés, et n'ont pas essayé de mémoriser les mots ni les couleurs).

Diverses expériences de psychologie ont révélé la puissance de la sensation synesthésique. Vilayanur Ramachandran et Edward Hubbard, à San Diego, ont présenté à des sujets un ensemble de 2 et de 5, tels que la typographie fait