

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 €

La science du mouvement
De Galilée à Lagrange
• Michel BLAY

À travers un passionnant voyage dans la littérature des XVII^e et XVIII^e 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 €

La mécanique statistique
De Clausius à Gibbs
• Anouk BARBEROUSSE

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.

Nos 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

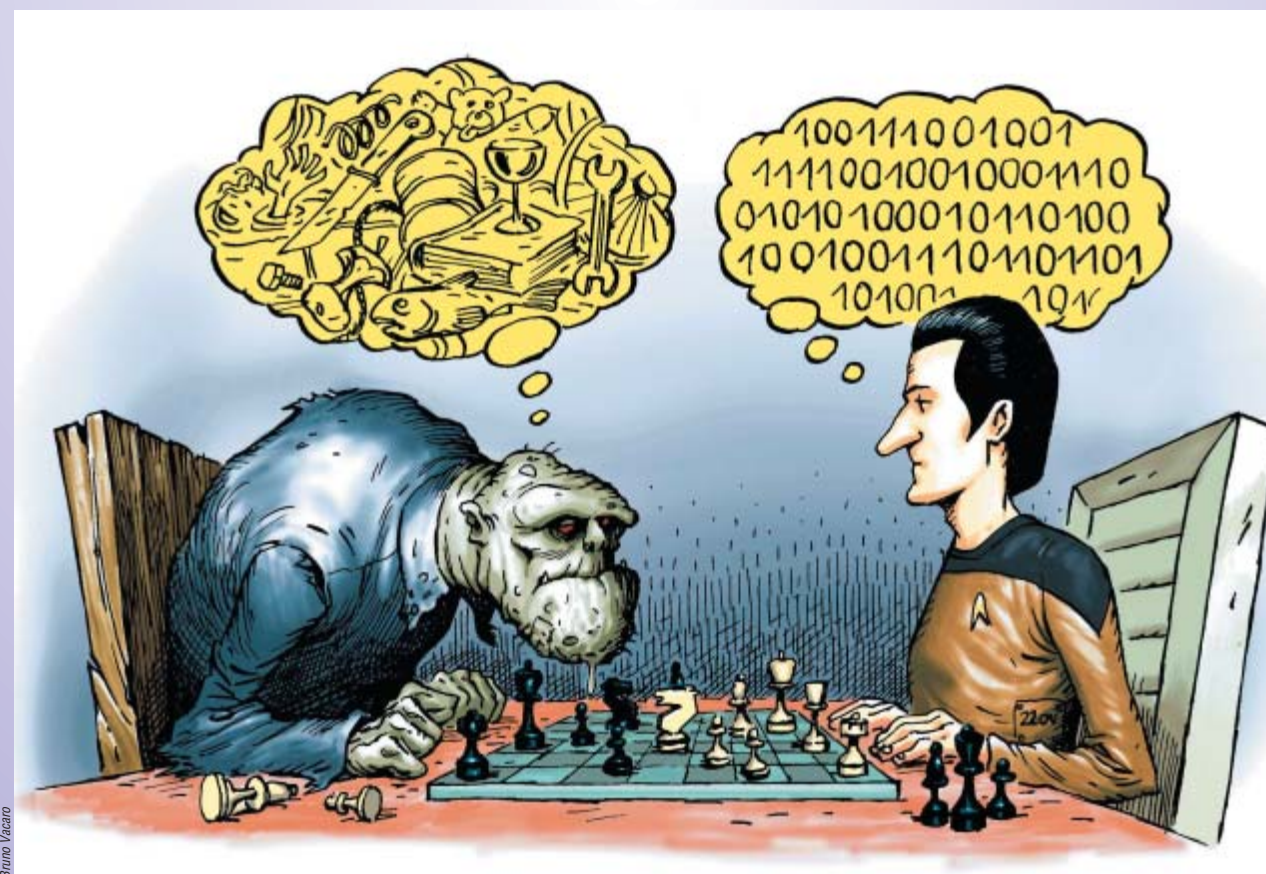
Théories *Data* contre théories *Zombie*

Quels 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.

Les 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 apprenaient 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



107

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.

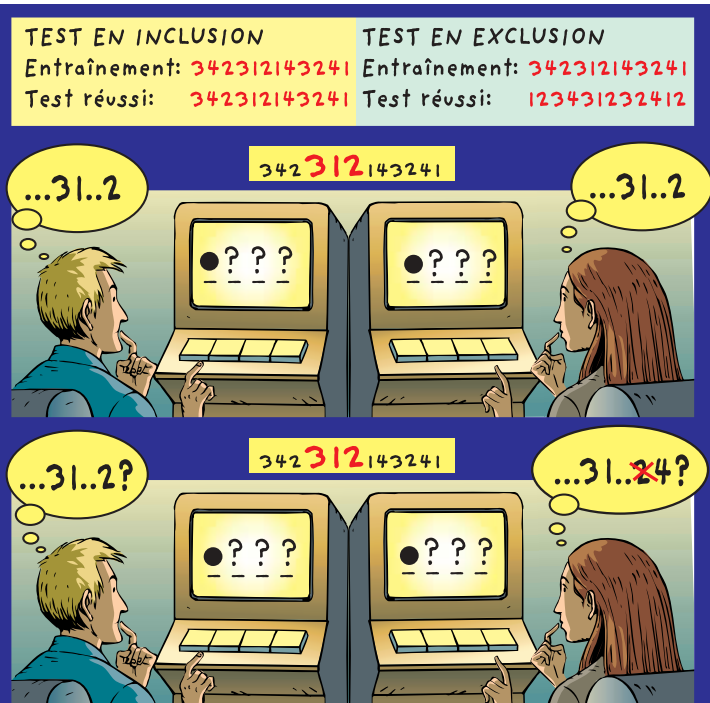
Comment concevoir le rôle de la conscience dans l'apprentissage à la lumière de ces résultats? Avant de répondre à cette question, il nous semble essentiel de rappeler les deux positions théoriques les plus répandues parmi les psychologues quant aux relations entre la conscience et l'inconscient. Nommée 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.

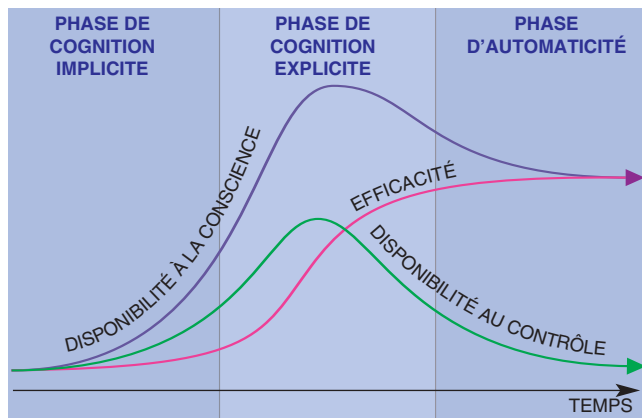
Ensuite, nous pensons que le développement de représentations de haute qualité prend du temps, et ce, à plusieurs niveaux. Ainsi, il nous faut du temps pour traiter un stimulus, du temps pour accomplir un apprentissage complet, du temps pour développer nos capacités cognitives. Pour autant, nous ne pouvons 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*

Chaque 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».