

voient que le visage neutre (le visage expressif masqué n'est pas consciemment perçu). Pourtant, le noyau amygdalien est davantage activé par des visages masqués exprimant la peur que par des visages masqués joyeux.

John Morris et son équipe de l'Institut de neurosciences cognitives, à Londres, ont confirmé par IRM fonctionnelle que le noyau amygdalien droit est activé par la présentation d'images subliminales de visages marquant la peur. En 1999, ils ont en outre montré qu'une voie de traitement sous-corticale – empruntant le colliculus supérieur – est activée lors de ce processus perceptif inconscient. Ainsi, il existe bel et bien des processus de haut niveau, ici liés à l'émotion, mis en œuvre sans que nous en ayons conscience.

L'interprétation de ces résultats reste compatible avec la conception neurologique hiérarchique classique, proposée par le neurologue anglais Hughlings Jackson, au XIX^e siècle. Elle postule que la conscience résulterait du fonctionnement de l'écorce cérébrale (le cortex), tandis que les étages inférieurs (ici le colliculus) et phylogénétiquement plus anciens (l'amygdale) traiteraient l'information inconsciemment. Toutefois, dans les années 1990, plusieurs équipes ont obtenu des résultats qui précisent cette hypothèse, en réfutant l'idée que toute activité du cortex s'accompagnerait nécessairement d'une conscience de cette activité.

À titre d'exemple, nous avons montré dans l'expérience d'amorçage visuel masqué numérique (chiffres inférieurs ou supérieurs à 5) une activation notable de la région du cortex moteur que les sujets auraient utilisée pour répondre au nombre amorce, nombre qu'ils ne percevaient pourtant pas consciemment ! C'est-à-dire que quand les sujets avaient reçu comme consigne d'appuyer sur le bouton gauche pour répondre «supérieur à 5» au nombre cible, et que le nombre 9 leur était présenté comme amorce masquée, ils activaient inconsciemment la région du cortex moteur de l'hémisphère droit qui commande les mouvements de la main gauche. Ces résultats démontrent que des régions motrices du cortex, activées lors d'actes conscients, peuvent être activées inconsciemment. Autrement dit, leur activité n'est pas nécessairement liée à la programmation et à l'exécution d'actions conscientes. On en déduit que toute activité corticale ne participe pas nécessairement au contenu conscient du sujet.

Comment dès lors interpréter ces résultats dans un cadre théorique ? Depuis le début des années 1980, et d'après les

travaux de Leslie Ungerleider et de Mortimer Mishkin, de l'Institut américain de santé mentale, on postule que les régions cérébrales visuelles sont organisées en deux voies de traitement interconnectées : la première, dite «voie ventrale», s'étend des régions corticales postérieures jusqu'aux régions les plus antérieures de la face inférieure du lobe temporal (voir la figure 4). Cette voie est souvent qualifiée de voie du «quoi?». Elle sous-tend des processus d'identification visuelle de plus en plus abstraits qui nous permettent de reconnaître tel ou tel objet, indépendamment de sa taille, de sa position ou de son orientation dans la scène que nous observons. La seconde voie, qualifiée de «voie dorsale», s'étend des régions visuelles postérieures jusqu'aux régions du cortex pariétal. En un mot, cette voie visuelle dorsale, aussi nommée voie du «où?» et du «comment?» sous-tend notre interaction motrice avec les objets visuels qui nous entourent. Elle est par exemple à l'œuvre lorsque nous jouons au tennis.

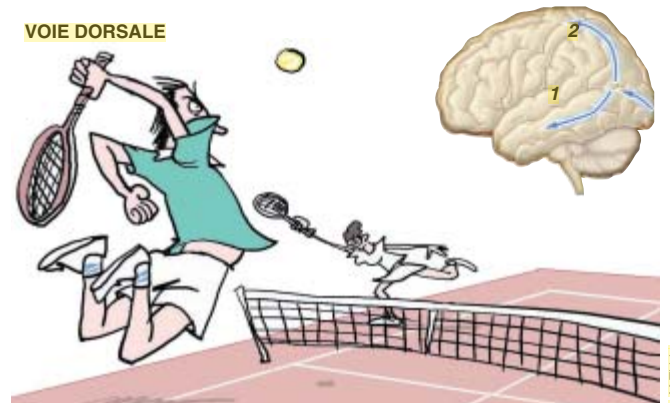
Voie dorsale et voie ventrale

De nombreux auteurs ont explicitement formulé une vision dichotomique entre le conscient et l'inconscient, qui rappelle celle de Jackson même si la partition anatomique proposée ne s'exprime plus en termes de cortex et de sous-cortex. David Milner, de l'Université de Durham, en Grande-Bretagne, et Melvyn Goodale, de l'Université de Western Ontario, au Canada, ont ainsi postulé que notre voie visuelle dorsale «pragmatique» et «rapide» fonctionne sans que nous ayons conscience des fruits de ses calculs. Selon eux, notre «conscience visuelle» trouverait sa source dans l'activité neuronale de notre voie visuelle ventrale.

Les études neurophysiologiques du masquage visuel nuancent cette thèse, qui demeure pourtant assez populaire dans la communauté neuroscientifique. Chez le singe éveillé, le groupe d'Edmund Rolls, de l'Université d'Oxford, a montré que des neurones situés dans la voie visuelle ventrale – précisément dans le cortex inféro-temporal – sont activés quand des visages masqués sont présentés. Cependant, les réponses des neurones sont alors moins intenses et moins prolongées que lorsque ces mêmes visages sont présentés en l'absence de masquage visuel (longuement). Plus récemment encore, nous avons contribué à délimiter chez l'homme les frontières des territoires



4. LES AIRES VISUELLES du cerveau sont organisées en deux voies de traitement parallèles (l'information visuelle suit les deux voies en même temps). Quand on cherche par exemple une balle de tennis parmi divers objets, l'information visuelle empruntant la voie ventrale (1) sert à reconnaître les objets. En revanche,



lors d'une partie de tennis, l'information visuelle empruntant la voie dorsale (2) régit «automatiquement» nos mouvements en fonction de la position de la balle, de sa vitesse supposée, de notre élan... Cette voie ventrale peut également coder des informations visuelles dont nous n'avons pas conscience.

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.

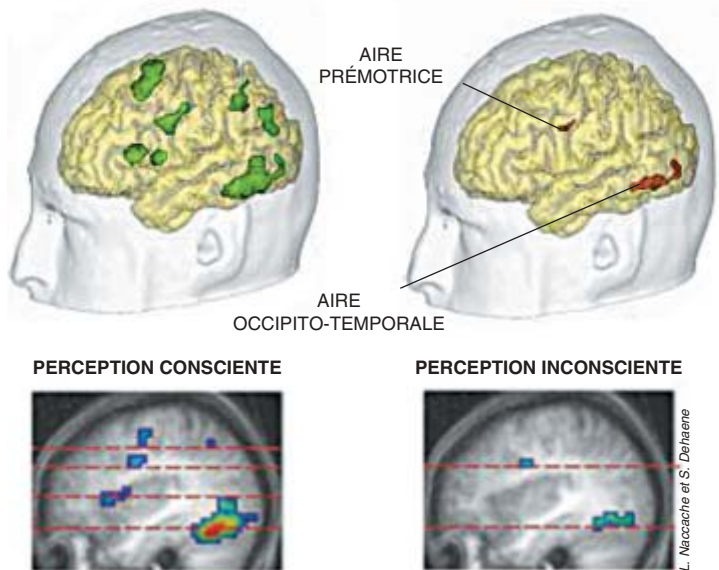
Dans cette étude, nous avons comparé les régions cérébrales activées par la lecture d'un mot visible à celles activées par la perception inconsciente du même mot (voir la figure 5). Les mots masqués activent un réseau d'aires cérébrales impliquées dans la perception visuelle des mots ainsi que dans leur 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 surliminales. 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^e 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