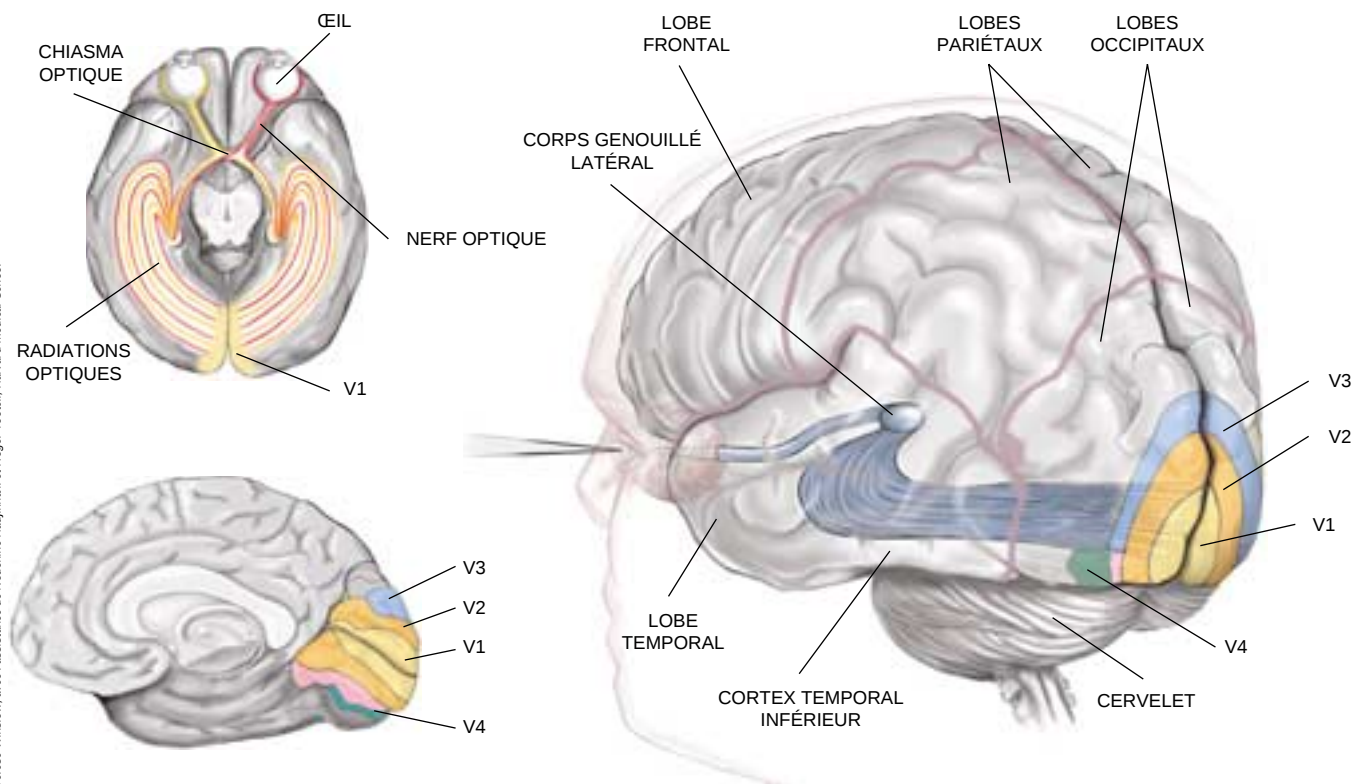




3. LE SYSTÈME VISUEL commence à l'œil et passe par plusieurs aires internes du cerveau avant d'atteindre les aires du cortex visuel (V1, V2, etc.). Les deux nerfs optiques se croisent (au chiasma optique), de sorte que chaque hémisphère cérébral reçoit des signaux provenant des deux yeux. L'information passe d'abord par les corps

genouillés latéraux, dont chaque neurone ne réagit qu'aux stimuli provenant d'un seul œil. Elle traverse entre autres le cortex temporal inférieur, sensible aux formes. Chaque aire corticale comporte des neurones qui ne s'activent qu'au moment où l'on prend conscience d'un stimulus donné.

dans une petite partie du champ visuel, nommée champ récepteur, qui est particulière à chaque neurone et dont la taille varie suivant les aires corticales.

Des corps genouillés latéraux, l'information visuelle atteint le cortex visuel primaire (V1), à l'arrière de la tête. Les neurones de V1 sont activés par l'information venant des deux yeux simultanément. Ils sont sensibles à des caractéristiques spécifiques de l'information visuelle, telle la direction du mouvement d'un stimulus dans leur champ récepteur. De là, l'information est transmise à plus de 20 aires corticales différentes.

Une partie de l'information visuelle passe alors dans des aires nommées V2 et V4, avant d'atteindre le cortex temporal inférieur. D'après de nombreuses études, portant notamment sur des patients souffrant de lésions cérébrales, le cortex temporal inférieur jouerait un rôle important dans la perception des formes et dans la reconnaissance des objets. Les neurones de l'aire V4 réagissent aux aspects de l'information visuelle qui permettent de discerner les formes. Dans le cortex temporal inférieur, certains neurones se comportent comme ceux de l'aire V4, mais

d'autres ne sont actifs que lorsque leur champ récepteur contient des objets entiers, tels des visages.

D'autres signaux émis par l'aire V1 passent par les aires V2, V3 et V5, aussi nommée MT (*Middle temporal area*, c'est-à-dire aire temporale moyenne), avant d'atteindre le lobe pariétal. La plupart des neurones de l'aire MT/V5 réagissent à des stimuli qui se déplacent dans une direction précise. Les neurones d'autres aires du lobe pariétal réagissent lorsque les animaux sont attentifs à un stimulus ou s'approprient à faire un mouvement dans sa direction.

Lors des premières études expérimentales du traitement de l'information visuelle, les neurobiologistes se sont étonnés des réactions des animaux complètement anesthésiés : chez ces animaux, de nombreux neurones, aussi bien de V1 que d'autres aires plus hautes dans la hiérarchie du traitement, continuent de réagir aux stimuli visuels. Ainsi les animaux (et l'être humain) ne sont-ils pas conscients de toute l'activité neuronale de leur cerveau.

Cette observation conduit à une question : la conscience correspond-elle à l'activation de certaines aires corticales ou de certains groupes de neurones ? Les

études de la rivalité binoculaire, chez des singes préalablement entraînés à signaler ce qu'ils perçoivent et récompensés avec du jus de fruit, donnent un début de réponse. À chaque singe, on présente des images projetées sur un écran (voir l'encadré de la page 84), tandis que l'on enregistre l'activité des neurones qui traitent l'information visuelle, grâce à des électrodes. Les neurones réagissent à des stimuli très spécifiques. Une fois identifié un stimulus auquel réagit un neurone particulier (que l'on nommera son stimulus préféré) en enregistrant son activité, et un autre stimulus auquel le même neurone ne réagit pas, on présente simultanément les deux stimuli, chacun à un œil : comme les êtres humains, les singes perçoivent alternativement les deux stimuli. En enregistrant l'activité des neurones au cours de présentations successives de paires d'images, on identifie les neurones dont l'activité change seulement quand on change les stimuli et ceux dont l'activité change avec la perception du singe (sans changement de stimuli).

Jeffrey Schall, de l'Université Vanderbilt, et moi-même avons réalisé une variante de cette expérience, où un œil voit une grille dérivant lentement vers

le haut, tandis que l'autre œil voit une grille dérivant lentement vers le bas. Nous avons enregistré l'activité neuronale dans l'aire corticale MT/V5, sensible aux mouvements : 43 pour cent des neurones avaient une activité qui changeait quand les singes rapportaient un changement de perception. La plupart des neurones dont l'activité changeait ainsi font partie des couches les plus profondes de l'aire MT/V5.

On s'attendait à une proportion supérieure, car presque tous les neurones de l'aire MT/V5 sont sensibles à la direction du mouvement. Pourtant, la majorité des neurones de l'aire MT/V5 se comportent comme ceux de l'aire V1 : ils restaient actifs tant que l'un des deux yeux voyait leur stimulus préféré, que le singe en soit conscient ou non.

Les expériences ont réservé d'autres surprises. Parmi les neurones étudiés, seuls 11 pour cent devenaient actifs quand le singe signalait qu'il percevait le stimulus préféré par le neu-

rone (la grille qui monte ou la grille qui descend) ; mais, paradoxalement, une proportion analogue de neurones était également excitée quand le stimulus préféré n'était pas perçu, alors qu'il était vu par un des deux yeux. Pour les autres neurones, on n'a pas réussi à caractériser leur stimulus préféré.

Au Collège de médecine de Baylor, David Leopold et moi-même avons exploré les aires qui reconnaissent les objets : nous avons enregistré l'activité neuronale des aires V1, V2 et V4, tandis que les singes regardaient des lignes inclinées vers la droite ou vers la gauche. Dans l'aire V4, 40 pour cent des neurones avaient une activité révélatrice d'une perception, comme dans l'aire MT/V5. La majorité des neurones étaient actifs lorsque le singe ne percevait pas leur stimulus préféré. Dans les aires V1 et V2, au contraire, moins d'un neurone sur dix était actif lorsque son stimulus préféré était perçu, et aucun lorsqu'il n'était pas perçu.

L'activité neuronale du cortex temporal inférieur diffère du tout au tout. Nous avons entraîné les singes à indiquer leurs perceptions lorsqu'ils voyaient deux images différentes en même temps, représentant par exemple des êtres humains, des animaux ou des objets manufacturés. Environ 90 pour cent des neurones sont actifs quand leur stimulus préféré est perçu. Sinon, leur activité est inhibée. Ainsi, la réaction de la grande majorité des neurones du cortex temporal inférieur serait liée à la perception.

À Harvard, Frank Tong, Ken Nakayama et Nancy Kanwisher ont étudié la rivalité binoculaire chez l'être humain, en établissant des cartes de l'activité cérébrale, par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), une technique qui mesure l'augmentation du débit sanguin dans les tissus : l'activité du cortex temporal inférieur est plus intense quand les stimuli sont des images de visages.

Les singes sont-ils honnêtes ?

Dans les expériences avec des singes, comment s'assurer qu'ils indiquent bien ce qu'ils voient ? Ne trichent-ils pas, pour qu'on leur donne plus de jus de fruit ? Au cours des sessions d'entraînement (*ci-dessous*), on apprend à un singe à tirer sur le levier de gauche quand il voit un soleil, et sur le levier de droite quand il voit un cow-boy. On lui présente une seule image ou deux images identiques, et l'on vérifie qu'il répond correctement. Dans ce cas, on le récompense avec du jus de fruit. On lui présente aussi l'image du soleil superposée à celle du cow-boy (*dernier panneau*). Si le singe tire sur un levier au hasard, on sait qu'il triche et on ne lui donne pas de jus de fruit. D'après nos résultats, les singes relatent leur perceptions avec précision. En pratique, les singes indiquaient correctement leurs perceptions après la

phase d'apprentissage. Mieux encore, les singes obtiennent d'aussi bons résultats que les êtres humains, sur le même appareil, dans différentes tâches.



Le singe voit un soleil et tire le levier gauche.
RÉPONSE CORRECTE = RÉCOMPENSE DE JUS DE FRUIT



Le singe voit un soleil et tire le levier gauche.
RÉPONSE CORRECTE = RÉCOMPENSE DE JUS DE FRUIT



Le singe voit un cow-boy et tire le levier droit.
RÉPONSE CORRECTE = RÉCOMPENSE DE JUS DE FRUIT



Le singe voit un soleil et tire le levier gauche.
RÉPONSE CORRECTE = RÉCOMPENSE DE JUS DE FRUIT



Le singe voit la superposition des deux images et tire un levier au hasard.
RÉPONSE INCORRECTE = PAS DE JUS DE FRUIT