

# Synchronisation neuronale et représentations mentales

**WOLF SINGER**

*Dans le cerveau, des ensembles de neurones synchronisent leur activité. Les décharges simultanées de ces assemblées de neurones sont associées à la perception consciente du monde environnant.*

**C**omment le monde mental naît-il du monde matériel? Le cerveau possède quelque 100 milliards de neurones, chacun relié à ses voisins par environ 10 000 connexions. Mathématiquement, la possibilité d'agencement de 10 000 neurones parmi 100 milliards en utilisant  $10^{15}$  connexions est au-delà de tout ce que les machines ou les hommes peuvent concevoir. Ainsi, on peut imaginer que ces agencements de sous-groupes de neurones, ou d'assemblées de neurones, comme nous les nommerons, pourraient coder qui un objet, qui une des situations auxquelles nous sommes confrontés chaque jour. Malheureusement, cette hypothèse ne nous permet pas encore de répondre à la question posée.

Il reste à comprendre comment sont créées ces «assemblées de neurones», de quelle façon elles sont maintenues et comment elles influent les unes sur les autres. Durant ces dernières années, nous avons étudié nombre de processus perceptifs chez des animaux, tout en enregistrant l'activité électrique de leurs neurones. Un point commun semble se dégager de la perception des stimulus visuels, au niveau des assemblées de neurones : les neurones engagés dans la perception d'un objet synchronisent leur activité. Nous allons aborder cette notion de synchronisation des décharges électriques, en insistant sur le fait que la synchronisation des neurones d'une même assemblée et, par conséquent, d'une même image mentale, joue le rôle d'un «code de reconnaissance». Puis nous examinerons à quel point la synchronisation est un code efficace, à la fois pour identifier les neurones appartenant à une même assemblée, pour créer les assemblées et pour leur permettre d'interagir. Enfin, nous verrons que, chez l'homme, cette synchronisation entre territoires distants du cerveau a lieu lorsque l'on se remémore un objet. Tout d'abord, qu'est-ce qu'un objet?

## Qu'est-ce qu'un objet ?

La définition d'un objet est centrale pour qui veut aborder la question de la conscience. Toute conscience est conscience de quelque chose, et il suffit pour s'en convaincre d'essayer de ne penser à rien : aussitôt, d'innombrables images mentales surgissent. Comment l'esprit conçoit-il ces objets? Imaginez-vous dans un salon, au milieu d'un riche environnement constitué d'étagères, de livres, de tables et de

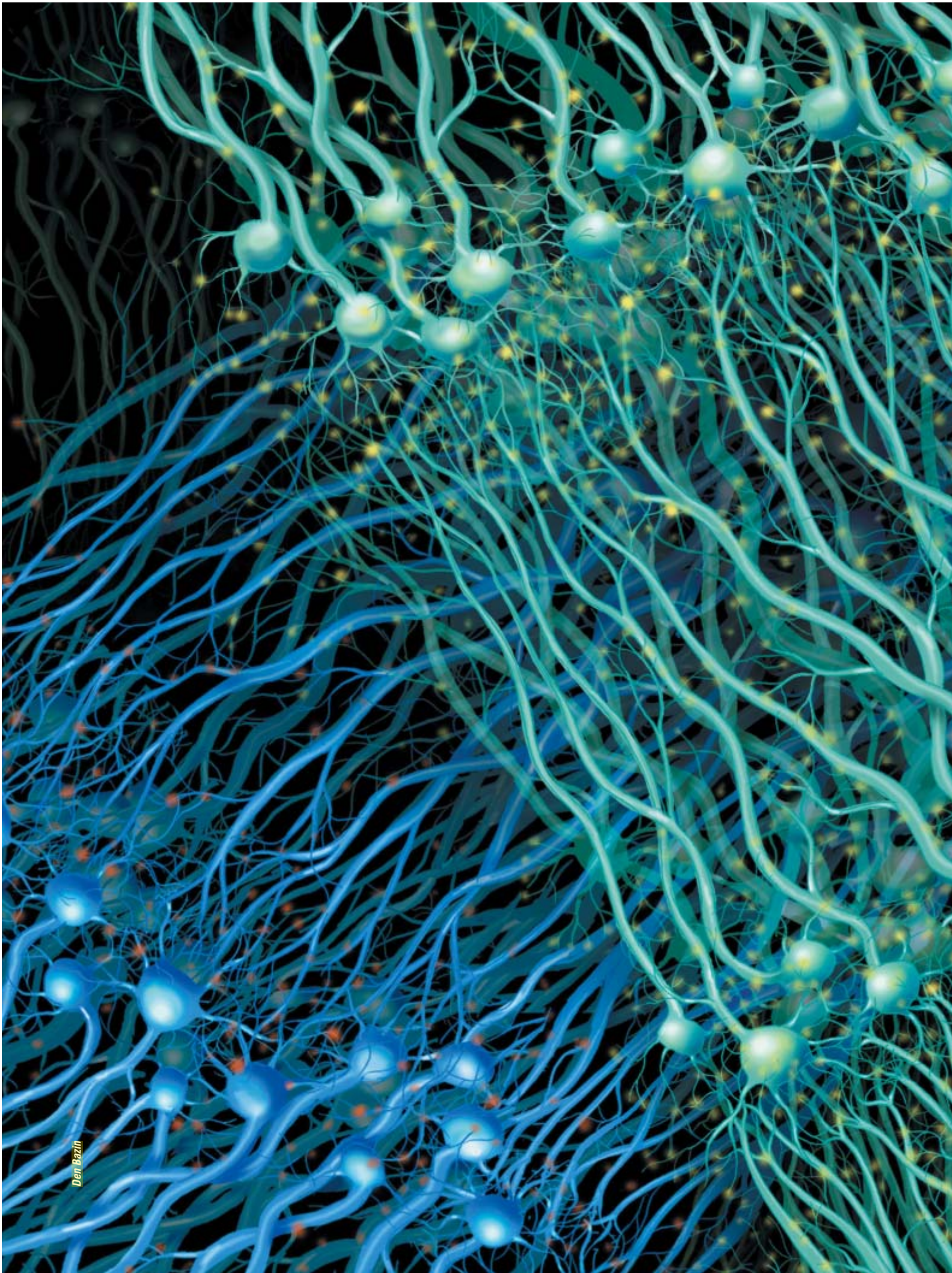
verres remplis de boisson, vous êtes en compagnie de plusieurs personnes qui devisent en buvant du champagne. Sans que vous y prêtiez attention, le système visuel segmente la scène en éléments distincts. Un tel découpage est établi d'après certaines caractéristiques des objets : leur continuité (l'objet «être humain» est défini par regroupement des sous-éléments bras, jambes, tronc et tête), la proximité (un groupe de personnes), la similarité (les verres contiennent du champagne) et la colinéarité (des livres sont placés côte à côte sur l'étagère). Certaines caractéristiques sont moins évidentes : un jeune enfant a tendance à considérer comme une seule entité plusieurs personnes se déplaçant dans la même direction.

Afin d'analyser comment le cerveau crée un même objet par regroupement de plusieurs éléments, nous avons étudié l'activité cérébrale de chats observant des objets lumineux en mouvement. Dans notre expérience, les deux objets sont deux réseaux de lignes parallèles. Les barres du premier réseau sont perpendiculaires à celles du second, et le premier réseau se déplace vers le haut et vers la gauche, tandis que le second se déplace vers le haut et vers la droite. Nous avons enregistré l'activité électrique de neurones du cortex visuel du chat en y implantant des électrodes. Dans cette partie du cerveau, certains neurones sont sensibles au mouvement d'objets vers le haut et vers la gauche, et d'autres sont sensibles au mouvement vers le haut et vers la droite. Au début, le chat voit deux réseaux glissant l'un sur l'autre, mais quand on augmente la luminosité des intersections des lignes, il change de type de perception visuelle : il voit une seule grille à carreaux se déplacer verticalement vers le haut (voir la figure 2).

Ces deux types de perception visuelle correspondent à deux types d'activité neuronale. Quand le chat perçoit les réseaux de façon séparée, glissant l'un sur l'autre, ses neurones sensibles au mouvement vers le haut et vers la gauche sont activés par le premier réseau, tandis que ses

**1. DEUX POPULATIONS DE NEURONES synchronisent leur activité. La première population (en vert) est le siège de nombreuses décharges électriques visualisées au niveau des synapses par les taches jaunes. Le second réseau (en bleu) commence à décharger (les taches orange, encore peu nombreuses), et va se synchroniser avec le premier. Dans le cerveau, les populations de neurones synchrones pourraient participer à l'élaboration des images mentales.**







neurones sensibles au mouvement vers le haut et vers la droite sont activés par le second. Toutefois, les activités de ces neurones sont indépendantes. En revanche, lorsqu'il perçoit une grille unique se déplaçant verticalement vers le haut, les neurones du premier type et ceux du second type sont également activés, mais les décharges des neurones du premier type et celles des neurones du second type se synchronisent, survenant exactement au même moment. De ce fait, l'activité des deux réseaux de neurones est en quelque sorte soumise à une contrainte supplémentaire, le temps. Cette caractéristique temporelle crée un critère de regroupement des neurones : tous ceux qui déchargent dans un même intervalle de temps font partie de la même assemblée.

La synchronisation des décharges offre plusieurs avantages. Grâce à ce système de reconnaissance, les images mentales peuvent se succéder rapidement. Ce ne serait pas le cas si un autre paramètre de l'activité des neurones, l'intensité des décharges, était utilisé comme code de reconnaissance entre les neurones : il faudrait attendre que les neurones reçoivent tout un spectre de décharges de leurs voisins avant de pouvoir détecter celles qui sont les plus intenses. Un tel processus de détection séquentielle serait long (voir la figure 3). De surcroît, ce mode de fonctionnement poserait des difficultés lorsque des assemblées ont des neurones en commun. Elles devraient attendre d'être activées, l'une après l'autre : si le temps séparant l'activation de deux assemblées était inférieur au temps d'analyse séquentielle des intensités, comment savoir à quelle assemblée appartient un neurone émettant une décharge intense ? De

tels mécanismes aboutiraient à des processus de pensée extrêmement lents.

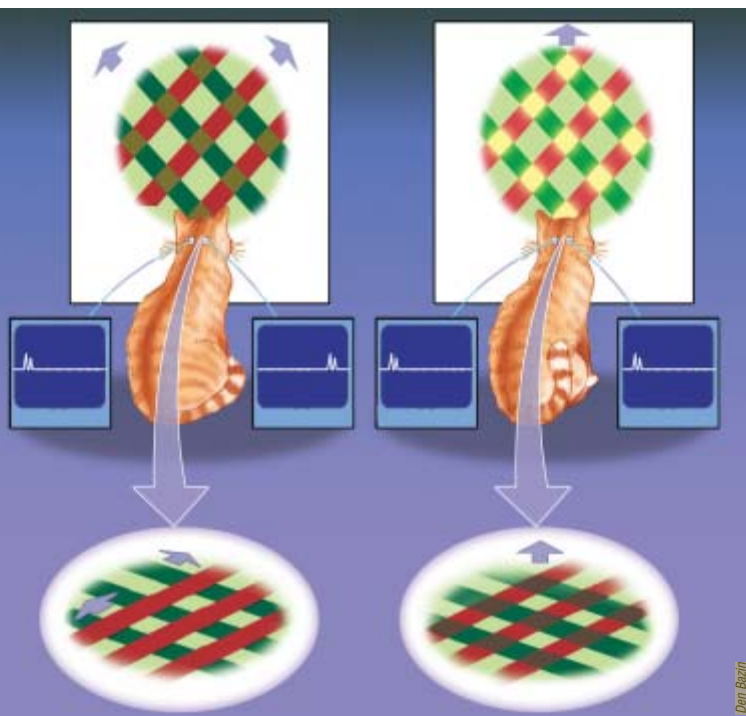
Par ailleurs, l'intensité des décharges varie en fonction de paramètres contingents : certains neurones déchargent plus fort s'ils perçoivent un stimulus qui correspond à leur «sensibilité spécifique». Nous avons vu qu'il existe des neurones, dans le cortex visuel, qui réagissent plus facilement aux mouvements d'un objet de la droite vers la gauche. Si l'on voit passer une voiture de droite à gauche ou de gauche à droite, les cellules du cortex visuel réagissent par des décharges d'amplitudes différentes. Et pourtant, il s'agit toujours d'une voiture en mouvement. Par conséquent, l'intensité des décharges serait un code peu fiable pour la détermination des neurones appartenant à une même représentation mentale. Ceci est confirmé par le fait que, dans notre expérience, lorsque le chat commute d'un type de perception à un autre, on ne note pas de changement notable de l'intensité des décharges neuronales. Dès lors, la synchronisation des neurones est-elle un signe de l'activité consciente du cerveau ?

## Voir consciemment, voir inconsciemment

Une expérience légèrement différente de celle des réseaux de barres peut être conduite sur des chats à qui l'on présente deux objets ayant la propriété de se superposer visuellement. On place deux objets devant le chat, par exemple un papillon face à son œil droit et une guêpe face à son œil gauche. Le champ visuel du chat est séparé par un miroir placé dans le prolongement de son museau. S'il regarde le papillon, son œil droit se fixe sur l'insecte et l'œil gauche ne fait que suivre le mouvement, par parallélisme. Or, on fait en sorte que cet œil puisse recevoir l'image d'un autre objet (ici, une guêpe) par réflexion sur le miroir (voir la figure 4). Ainsi, le chat reçoit l'image des deux objets superposés. Il doit choisir sur quel objet il doit fixer son attention. S'il fixe son attention sur le papillon, son œil droit réalise la perception consciente, et l'œil gauche voit la guêpe de façon inconsciente. S'il regarde la guêpe, c'est l'œil gauche qui capte l'attention et l'œil droit voit le papillon de façon inconsciente.

Nous avons mesuré l'activité des neurones du cortex visuel du chat reliés respectivement à l'œil droit et à l'œil gauche. Nous avons observé que, quand le chat fixe son attention sur la guêpe, les neurones correspondant à l'œil gauche synchronisent leurs décharges. Au contraire, quand il utilise l'œil droit, ce sont les neurones opposés qui se synchronisent tandis que les premiers se désynchronisent. On en déduit que l'œil qui convoie l'information traitée de façon consciente active une assemblée de neurones qui se synchronisent, tandis que celui qui voit inconsciemment active une assemblée de neurones non synchronisés.

La synchronisation de l'activité neuronale est liée à la capacité attentionnelle des animaux, et augmente avec le degré d'attention de l'animal. Nous avons entraîné des chats à appuyer sur des leviers avec leur patte quand ils observaient que l'orientation d'un réseau de barres parallèles changeait. On constate que non seulement les neurones visuels, mais aussi les neurones du cortex sensorimoteur engagés dans le mouvement de la patte, se synchronisent au moment de la tâche. Ainsi, la synchronisation se manifeste entre des aires cérébrales distinctes, ici le cortex visuel et le cortex pariétal et frontal. De surcroît, une telle synchronisation commence



**2. DEUX SÉRIES DE BARRES PARALLÈLES** se déplaçant dans des directions perpendiculaires sont observées par un chat. Le système visuel perçoit, soit deux séries se déplaçant dans des directions différentes (à gauche), soit une seule grille, regroupée en un seul motif se déplaçant dans une direction intermédiaire, vers le haut (à droite). Dans le premier cas, les neurones sensibles à ces composantes du mouvement envoient des décharges indépendantes les unes des autres. Dans le second cas, les mêmes neurones sont sollicités, mais leurs décharges sont synchronisées.