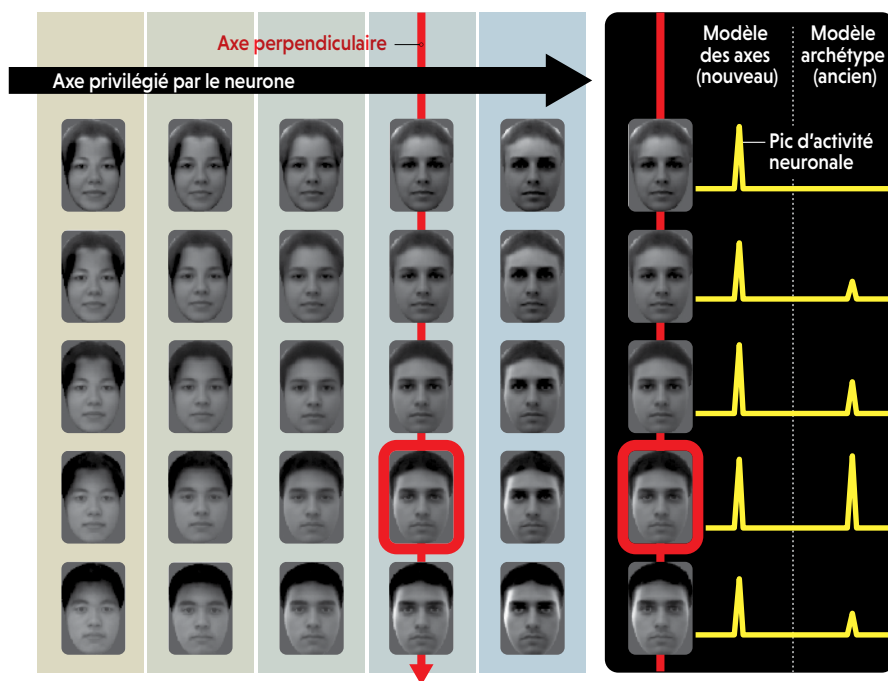


## DES VISAGES CODÉS DANS UN ESPACE À 50 DIMENSIONS

On peut décrire la réponse des neurones faciaux du singe à un visage humain donné à l'aide d'un code qui utilise 50 coordonnées caractérisant la forme et l'aspect du visage présenté. Chacun de ces neurones s'active avec une intensité particulière en réponse à un certain visage (*contours rouges*), correspondant à une certaine position le long de l'« axe privilégié » du neurone dans l'espace à 50 dimensions. L'intensité de l'activation augmente linéairement avec la position le long de l'axe privilégié. De plus, cette réponse est la même pour tous les visages situés sur le même axe perpendiculaire à l'axe privilégié. Ce modèle de codage facial fondé sur des axes diffère du modèle précédent, où chaque neurone répond avec une intensité maximale pour un visage unique.



s'attendrait à ce que les six zones soient connectées les unes aux autres et que chaque zone remplisse une fonction distincte.

Pour explorer les connexions neuronales entre ces zones, nous avons stimulé électriquement des régions cérébrales avec de très faibles intensités de courant (technique appelée microstimulation) pendant que le singe était à l'intérieur d'un scanner d'IRMf. Il s'agissait de déterminer quelles autres parties du cerveau sont activées lorsqu'on stimule une zone faciale. Nous avons découvert que chaque fois que nous stimulons une zone faciale, les autres étaient activées, mais pas le cortex environnant, ce qui indique que les zones faciales sont bel et bien fortement interconnectées.

De plus, nous avons constaté que chaque zone assurait une fonction différente. Nous avons présenté aux singes les photos de 25 personnes, chacune présentant huit orientations différentes de la tête, et enregistré les réponses de cellules situées dans trois régions: les zones médiane latérale et médiane du fundus (ML/MF), la zone latérale antérieure (LA) et la zone médiane antérieure (MA).

Nous avons constaté des différences frappantes entre ces trois régions. Dans les zones ML/MF, les cellules répondent sélectivement à une orientation particulière. Par exemple, une cellule réagit plutôt aux visages regardant de face, tandis qu'une autre opte pour les visages regardant à gauche. Dans la zone LA, les cellules sont moins spécifiques de l'orientation. Une partie des cellules répondent aux visages regardant vers le haut, le bas et droit devant; une autre répond aux visages regardant à gauche ou à droite. Dans la zone MA, les cellules réagissent aux visages d'individus particuliers, qu'ils soient vus de face ou de profil. Ainsi, à la fin du réseau, dans la zone MA, les représentations spécifiques à une orientation s'assemblaient avec succès en une représentation indifférente à l'orientation.

Apparemment, c'est donc bien en agissant comme une chaîne de montage que les zones faciales relèvent l'un des grands défis de la vision: reconnaître les objets qui nous entourent malgré leur aspect variable. Une voiture peut être de n'importe quelle marque ou couleur, apparaître sous n'importe quel angle et à n'importe quelle

## DES PHOTOS QUI VALENT 205 NEURONES

**P**our un visage donné, on peut prédire comment un neurone facial réagira en prenant une somme pondérée des 50 coordonnées décrivant le visage. Pour deviner à partir de l'activité neuronale quel visage le singe a vu, il suffit d'inverser le calcul : connaissant la réponse des 205 neurones faciaux enregistrés, on peut calculer les 50 coordonnées définissant le visage présenté et ainsi reconstituer celui-ci avec précision.

Photos originales de la base de données



Visages correspondants reconstruits à partir de l'activité neuronale

➤ distance, et même être partiellement masquée par des objets plus proches tels que des arbres ou d'autres voitures. Reconnaître un objet malgré ces transformations visuelles est le « problème de l'invariance », et il nous semble clair qu'une fonction majeure du réseau des zones faciales est de surmonter cet obstacle.

Étant donné la grande sensibilité des cellules des zones faciales aux variations de l'aspect d'un visage, on pourrait s'attendre à ce qu'une altération de la réponse de ces cellules modifie la perception des visages chez l'animal. En 2012, Jacques Jonas et ses collègues, de l'université de Lorraine et du CHRU de Nancy, avaient stimulé électriquement une zone faciale chez des sujets humains à qui on avait implanté des électrodes afin de déterminer la source des crises d'épilepsie. Ils avaient montré que cette stimulation entraînait une perte de reconnaissance du visage par le patient.

Nous nous sommes demandé si nous retrouverions le même effet chez les singes en stimulant les zones faciales. Cela n'affecterait-il que la perception des visages ou y aurait-il également une incidence sur la perception d'autres objets ? La frontière entre un visage et un autre

objet est floue (on peut voir un visage dans un nuage ou dans une prise électrique). Nous voulions utiliser la microstimulation électrique comme un outil permettant de caractériser précisément ce qui définit un visage pour une zone faciale. Nous avons alors entraîné des singes à indiquer si deux visages présentés l'un après l'autre étaient identiques ou différents. Conformément aux résultats obtenus chez l'humain, nous avons constaté que la microstimulation des zones faciales déformait fortement la perception, de sorte que l'animal signalait toujours deux visages identiques comme étant différents.

Il est intéressant de noter que la microstimulation n'a pas d'effet sur la perception de nombreux objets n'ayant rien à voir avec des visages, mais qu'elle altère notablement la réponse à des objets dont la forme pourrait être associée à un visage, les pommes par exemple.

Pourquoi cette stimulation influe-t-elle sur la perception d'une pomme ? Il est possible que les zones faciales servent généralement à représenter non seulement des visages, mais aussi d'autres objets ronds, telles les pommes. Une autre hypothèse est que les zones faciales ne soient normalement pas utilisées pour représenter ces objets, mais que la stimulation donne à une pomme l'apparence d'un visage. Il reste à déterminer si les zones faciales sont utiles pour détecter des objets autres que les visages.

## DÉCHIFFRER LE CODE NEURONAL

La découverte de l'organisation du système de zones faciales et des propriétés des neurones qui les composent était un accomplissement majeur. Mais mon rêve, quand nous avons commencé à enregistrer l'activité neuronale des zones faciales, allait bien plus loin. J'avais l'intuition que cela nous permettrait de déchiffrer le code neuronal de l'identité faciale. C'est-à-dire de comprendre comment les neurones traitent les visages, avec un niveau de détail permettant de prédire la réponse d'une cellule à un visage donné ou de décoder l'identité d'un visage en s'appuyant uniquement sur l'activité neuronale.

Le principal défi consistait à décrire les visages quantitativement et avec précision. Le Chang, alors postdoctorant dans mon laboratoire, a eu la brillante idée d'adopter une technique du domaine de la vision par ordinateur nommée « modèle actif d'apparence ». Dans cette approche, un visage est décrit par deux ensembles de caractères, un pour la forme et un autre pour l'aspect (voir l'encadré page 48). Les caractéristiques de la forme sont, en gros, celles définies par le squelette (la largeur de la tête, l'écart des yeux...). Les caractéristiques d'aspect définissent la texture de la surface du visage (teint, couleur des yeux ou des cheveux...).