



frontal. Dans les bulbes, des structures nommées «glomérules» regroupent les informations provenant de différents neurones olfactifs et leur donnent une représentation spatiale spécifique – une carte dite «chimique»: des régions différentes du bulbe s'activent selon la molécule sentie.

Chaque odeur active un groupe de glomérules différents et, en fonction du nombre et de la nature des glomérules activés, il est possible de déterminer de quelle odeur il s'agit. De là, l'information olfactive arrive dans le cortex piriforme, une petite région cérébrale située dans le lobe temporal. Dans cette région, la carte olfactive présente dans les bulbes disparaît – une étape cruciale, nous le verrons.

Le fonctionnement du cortex piriforme est complexe. Des interconnexions étendues le relient non seulement au bulbe olfactif, mais aussi à des structures olfactives secondaires telles que l'amygdale, qui traite, sans que l'on en ait conscience, l'émotion associée aux odeurs, l'hippocampe, qui permet la formation de souvenirs olfactifs, et le cortex orbitofrontal, qui traite de façon consciente la valeur de chaque odeur.

«L'idée générale, conclut Valentina Parma, est que les transformations spatiales qui se produisent lors du passage des récepteurs aux aires corticales, c'est-à-dire lors du passage des cartes ordonnées des bulbes olfactifs au brassage apparemment aléatoire du cortex

piriforme, offrent la possibilité d'encoder à la fois des odeurs que nous reconnaissons de manière innée, sans en avoir fait l'expérience, à l'aide de circuits neuronaux stéréotypés, et des odeurs que nous reconnaissons par l'expérience et qui nécessitent une flexibilité fondée sur l'apprentissage.»

DE L'INNÉ ET DE LA FLEXIBILITÉ, MAIS PAS TROP

«Pour certaines odeurs, la flexibilité doit être faible, ajoute Giuliano Iurilli. Surtout chez des animaux chassés par des prédateurs.» Une souris, par exemple, ne peut avoir une représentation trop variable des odeurs du renard ou du loup. Cette représentation doit au contraire être stable et activer rapidement des circuits moteurs de défense. Trop de flexibilité entraîne un retard dans la réponse, une incertitude, ce qui, sur le plan évolutif, est suicidaire.

Cependant, même si les processus stéréotypés ont une forte base innée, l'effet de l'expérience n'est pas exclu. Dans le système nerveux, si des fonctions innées se manifestent toujours, d'autres, également innées, nécessitent l'intervention de l'environnement pour se développer.

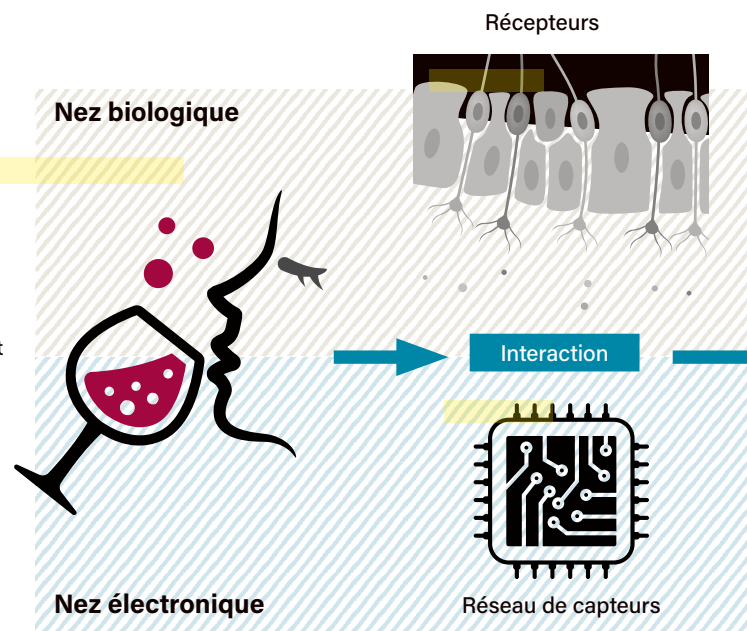
C'est le cas dans la vision tridimensionnelle binoculaire: dans le cerveau humain adulte, des structures nommées «colonnes de dominance oculaire» perçoivent les légères différences entre les images reçues par chaque œil, ce qui permet au cerveau de «calculer» la distance de

Inaugurée en 1968, l'usine laboratoire d'Eze, près de Nice, est l'une des trois usines de la parfumerie Fragonard, fondée en 1926 à Grasse. L'industrie des parfums a donné une forte impulsion à la recherche scientifique dans le domaine de l'olfaction.

NEZ BIOLOGIQUE VERSUS NEZ ÉLECTRONIQUE

Dans les systèmes biologiques, l'identification d'une odeur commence par la liaison des molécules volatiles à des récepteurs spécifiques nichés dans la membrane de neurones olfactifs, eux-mêmes situés dans les cavités nasales. Les humains comptent environ 400 types de récepteurs olfactifs. En progressant vers les régions cérébrales plus centrales, les signaux issus de l'activation de ces récepteurs se combinent, ce qui nous permet de percevoir de nombreuses odeurs différentes (au moins 10 000, voire plus de 1 000 milliards selon certaines estimations).

Dans les systèmes artificiels, le nombre d'odeurs perceptibles est limité par le nombre de types de capteurs chimiques qui détectent les substances volatiles. Un processeur électronique analyse l'activation des capteurs selon une méthode plus ou moins d'inspiration biologique. En général, l'industrie préfère une approche d'ingénierie, moins flexible mais plus sûre, pour détecter des substances particulières. Le résultat est alors comparé à une banque de données pour rechercher des similitudes avec des odeurs connues. Contrairement aux nez biologiques, la plupart des nez artificiels sont incapables d'apprendre à reconnaître de nouvelles odeurs.



l'objet. Ces structures sont innées – les informations sont contenues dans notre génome –, mais elles ne se développent pas toujours. Une période de cécité immédiatement après la naissance, même temporaire, empêche leur formation. Par exemple, il suffit de bander les yeux de chats, une autre espèce présentant des colonnes binoculaires, durant les premiers jours pour provoquer une cécité permanente à la stéréoscopie.

Les aptitudes olfactives innées seraient de ce type. «Même les structures cérébrales importantes pour les comportements innés conservent une certaine plasticité. D'un point de vue énergétique, c'est plus économique, commente Giuliano Iurilli. À quoi servent des neurones représentant le renard si l'on n'en rencontre jamais?»

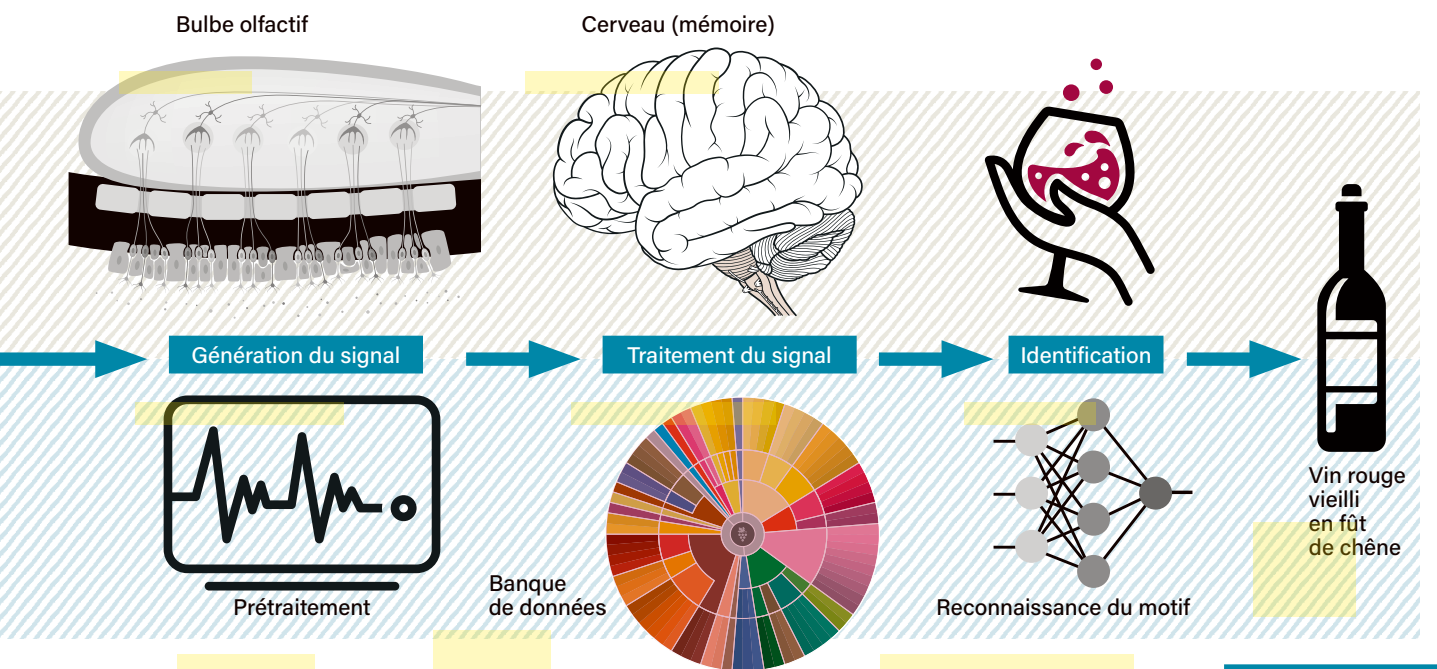
Selon lui, cela explique aussi la différence de vitesse d'apprentissage observée entre les réseaux de neurones artificiels et biologiques. «Aujourd'hui, avec les réseaux de neurones profonds, on fait un peu de tout: conduite automatique, reconnaissance vocale, etc. Mais un réseau artificiel nécessite un entraînement avec des millions d'exemples, alors que les cerveaux biologiques partent de quelque chose d'inné. S'ils en ont besoin, ils l'améliorent, sinon, ils ne l'exploitent pas, ce qui évite de consommer de l'énergie inutilement. Chaque système biologique part d'une base innée et ajoute ensuite de la flexibilité.»

UNE VARIABILITÉ D'UN INDIVIDU À L'AUTRE

Revenons aux récepteurs olfactifs. Dans la membrane des cellules sensorielles sont fichées des protéines – chacune correspondant à un gène – qui se fixent sélectivement aux

molécules odorantes. Chez l'humain, plus de 900 gènes codent de telles protéines, dont, étonnamment, environ 500 sont des «pseudo-gènes», qui ne fonctionnent plus. «D'un point de vue évolutif, les gènes olfactifs se sont dupliqués, triplés, quadruplés pour former des grappes dans les chromosomes et ce processus évolutif est probablement encore actif», explique Paolo Gasparini, qui dirige le département de génétique médicale de l'institut pédiatrique Burlo Garofolo, à Trieste, en Italie, et qui a mené de nombreuses recherches sur les bases génétiques du goût et de l'odorat. «Aujourd'hui, nous n'utilisons plus notre odorat pour la reproduction ou pour identifier les proies et les prédateurs, des fonctions importantes dans notre passé évolutif. De nombreux gènes sont donc tombés en désuétude et ne conduisent au développement d'aucun type de récepteur.»

Un autre phénomène, observé récemment, a pu intervenir. «Grâce aux techniques de génomique, le génome de centaines de milliers de personnes dans le monde a été analysé, indique Paolo Gasparini. À Trieste, nous avons séquencé celui de plusieurs milliers d'individus. Les gènes les plus sujets à l'inactivation génique, c'est-à-dire à des mutations touchant les deux copies d'un même gène (ses deux allèles) chez un individu et rendant ce gène inactif, sont essentiellement de deux catégories: ceux qui codent les récepteurs olfactifs et ceux qui codent les kératines, des protéines fibreuses qui constituent les ongles, les cheveux et les poils. C'est une preuve supplémentaire que nous pouvons vivre avec un grand nombre de gènes olfactifs non fonctionnels.» La seule conséquence de ces invalidations géniques est la perte sélective d'une odeur, sans incidence sur la santé.



De tels phénomènes entraînent une variabilité entre les individus d'une même espèce. Certaines études suggèrent même que deux personnes sont susceptibles de percevoir différemment près d'une odeur sur trois. « Un exemple est emblématique, explique Valentina Parma. On perçoit l'androstadiénone, une hormone dérivée de la testostérone, grâce à un récepteur spécifique. Or on a répertorié trois variants alléliques du gène qui code ce récepteur. Selon le variant, on perçoit une forte odeur de sueur ou d'urine, une odeur douce et agréable, presque florale, ou rien du tout. Difficile de trouver un équivalent visuel! »

LE RÔLE CLÉ DU CORTEX PIRIFORME

L'odorat d'une personne varie aussi dans le temps. Ce fait, déjà décrit dans la littérature scientifique, est à nouveau apparu dans une étude menée en 2020 chez la souris par Giuliano Iurilli et Stefano Panzeri, de l'Institut italien de technologie, à Rovereto, et des collègues. L'objectif était de comprendre la transformation spatiale, c'est-à-dire le passage de la carte ordonnée des glomérules au chaos du cortex olfactif. « Dans le cortex piriforme, l'organisation chimique disparaît », explique Stefano Panzeri.

« Pour comprendre ce qui se passe, explique Giuliano Iurilli, imaginons les photos de deux personnes d'âge similaire aux cheveux courts et remanions aléatoirement tous les pixels de chaque photo. À ce stade, on peut penser que toutes les informations ont été perdues et que la similitude entre les deux photos n'est plus traçable. Pourtant, si on les compare avec la photo d'une personne plus âgée aux cheveux longs, elle aussi remaniée, on observe qu'il est

possible, malgré tout, de détecter que la distance entre la troisième et chacune des deux autres est plus grande que la distance entre ces dernières. » Le chaos du cortex piriforme n'est qu'apparent : grâce à ses connexions internes, non seulement il maintient l'information, mais il la réorganise et l'enrichit.

Et l'encodage de ces informations ne dépend pas que de la localisation des neurones : « Nous avons observé que dans le cortex piriforme, la séquence temporelle de l'expérience joue un rôle clé. Chez les souris familiarisées pendant quelques jours avec une séquence de deux odeurs chimiquement différentes, le cortex piriforme développait des représentations plus semblables des deux odeurs que chez celles qui n'avaient pas eu de période de familiarisation », explique Stefano Panzeri.

« On peut voir les catégorisations dans le bulbe comme des représentations proches des détails chimiques de l'odeur. Dans le cortex, en revanche, on se rapproche de la signification perceptive », conclut-il. Par exemple, nous regroupons sous le terme « agrumes » les odeurs d'orange et de citron, qui ont des structures chimiques différentes. Ce type d'association se produirait dans le cortex piriforme sur la base de l'expérience personnelle.

DES NEZ ARTIFICIELS BIOMIMÉTIQUES

De telles études permettent de découvrir de nouveaux détails sur les mécanismes en jeu dans le traitement des signaux olfactifs, dont on s'inspire ensuite pour développer des systèmes d'olfaction artificiels. Michael Schmuker, du groupe de bio-informatique de l'université du Hertfordshire, au Royaume-Uni, fait partie des quelques chercheurs dans le monde qui