

que le 2 est l'image en miroir du 5 (voir la figure 2). Les 5 sont très nombreux et forment un arrière-plan homogène. Quelques 2 sont dispersés parmi eux, formant un triangle. Les non-synesthètes peinent à détecter le triangle. Au contraire, les synesthètes aux graphèmes colorés, pour qui les 2 et les 5 sont accompagnés de sensations de couleur différentes, voient immédiatement le triangle ressortir en une couleur, tandis que l'arrière-plan est d'une couleur différente. Les synesthètes affirment voir les chiffres en couleur alors qu'ils sont écrits en noir sur fond blanc. La réalité consciente de la synesthésie étant attestée par des expériences psychologiques, il restait à l'analyser grâce aux nouveaux moyens d'investigation des neurosciences.

Le cerveau des synesthètes

Aujourd'hui, les expériences de neuro-imagerie autorisent à visualiser le cerveau en action, lors d'une tâche cognitive ou d'une perception. En 1995, la technique de tomographie par émission de positons (TEP) permit à Eraldo Paulesu et à ses collègues du Laboratoire d'imagerie fonctionnelle des Laboratoires Wellcome, à Londres, de suivre l'activité des différentes zones du cerveau de synesthètes à qui l'on faisait écouter une liste de mots énoncés. Chez les synesthètes, ces mots faisaient naître des sensations colorées, tandis que chez des individus «normaux», ils évoquaient tout au plus certaines de ces couleurs. Chez les synesthètes, et uniquement chez eux, le cortex visuel était activé, plus précisément, les aires associatives du système visuel où sont intégrées les différentes informations visuelles (voir la figure 3).

Expériences synesthésiques

Ce qui me frappe au premier abord est la couleur de la voix d'une personne. V. a une voix jaune, friable, comme une flamme avec des filaments en saillie. Parfois je suis si intéressé par la voix que je ne parviens pas à comprendre le contenu réel des paroles.

La menthe verte a une saveur qui ressemble à des colonnes fraîches, des colonnes de verre. Le citron a une forme pointue, pressée sur mon visage et dans mes mains. C'est comme si je posais mes mains sur un lit de clous.

Je suis frustrée par les publicités car les lettres et les chiffres sont toujours de la «mauvaise» couleur.

Je me souviens que lorsque j'avais deux ans mon père était sur une échelle en train de peindre le côté gauche du mur. La peinture sentait le bleu alors qu'il était en train de peindre en blanc. Je me souviens toujours de ce jour, en me demandant pourquoi la peinture était blanche alors que son odeur était bleue.



1. UN SYNESTHÈTE perçoit des sensations colorées déclenchées par des mots (quelques exemples sont mentionnés en haut à droite). On peut imaginer qu'il percevrait une grille de mots croisés (ci-dessus) comme une grille de mots et de couleurs (ci-contre). Chaque synesthète a son propre code de correspondance entre des mots et des couleurs, qui dépend de connexions cérébrales particulières.



Selon les psychologues Peter Grossenbacher et Chris Love- lace, ce résultat indique que les expériences synesthésiques résultent d'une activation partielle de réseaux corticaux visuels d'ordre supérieur (et non des aires visuelles primaires).

À l'Institut de psychiatrie de Londres, nous avons repris ces recherches en utilisant pratiquement la même procédure que l'équipe de E. Paulesu, mais en profitant de la plus grande résolution temporelle et spatiale de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, l'IRMf. Nous avons mesuré l'activité cérébrale de synesthètes et celle de non-synesthètes, en prenant soin d'étudier des groupes homogènes constitués uniquement de femmes, avec des proportions équilibrées de gauchères et de droitières d'une intelligence verbale comparable. Les sujets entendent une liste de mots prononcés ou des sons dépourvus de sens. On compare ensuite l'activité cérébrale enregistrée à celle obtenue lors d'un test standard d'activation du cerveau par des vraies couleurs. Dans ce dernier test, l'activité cérébrale est mesurée en réponse à des «mondrians», des rectangles irréguliers et de couleurs différentes, tels ceux peints par l'artiste Piet Mondrian, et l'on identifie la composante colorée de la perception en comparant l'activité cérébrale déclenchée par les mondrians avec l'activité déclenchée par les mêmes motifs en noir et blanc. Les résultats de ces deux expériences montrent que, contrairement aux sujets de référence, les synesthètes présentent une activation du système visuel en réponse aux mots énoncés. Ces résultats confirment ceux de l'équipe de E. Paulesu, mais l'activation que nous avons observée se situe en aval de la chaîne de traitement des informations visuelles : l'aire activée est celle où les couleurs sont analysées en tant que telles. Il s'agit d'une partie du gyrus fusiforme, plus connue sous le nom de région V4 ou V8. Ainsi, ces résultats confortent l'hypothèse selon laquelle les expériences synesthésiques se produiraient au début du traitement visuel et qu'elles seraient une réelle perception.

Quelle est la cause de la synesthésie? Les synesthètes forment-ils, très jeunes, des associations exceptionnellement fortes et durables entre des mots et des couleurs? Dans ce cas, la cause serait un apprentissage associatif. Le cerveau des synesthètes contiendrait-il des projections anormales entre le système sensoriel, où le stimulus inducteur est traité, et le système sensoriel, où la perception synesthésique est produite? Dans le cas des couleurs évoquées par des mots, il existerait une projection des parties du cerveau qui traitent les mots entendus ou lus, vers la région de perception des couleurs (V4/V8) du système visuel ; cette projection n'existerait pas dans le cerveau des non-synesthètes (ni dans

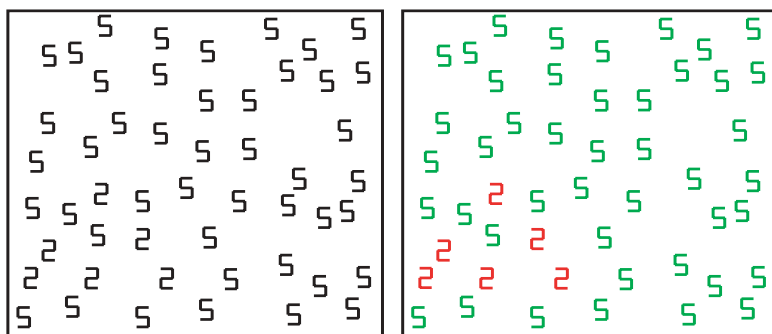
celui des personnes ayant d'autres types de synesthésie). Chez le synesthète, l'existence de cette projection anormale pourrait être due à une mutation génétique qui aurait pour effet soit d'entraîner la croissance de la projection, soit d'empêcher son élimination chez le tout jeune enfant (de nombreuses connexions sont éliminées durant la croissance du cerveau). Il n'existe pas aujourd'hui de moyen direct de tester l'hypothèse d'une connexion anatomique anormale chez les synesthètes, mais pour progresser dans la connaissance de la cause de la synesthésie, nous avons testé l'autre l'hypothèse : celle de l'apprentissage associatif.

La synesthésie, une faculté innée

Nous avons entraîné des non-synesthètes à former des associations de mots et de couleurs, puis nous les avons testés par IRM fonctionnelle afin de voir si leur activité cérébrale ressemblait au modèle enregistré chez les synesthètes quand on prononce les mots. Nous leur avons fait subir un entraînement intense pour que les associations entre mots et couleurs soient fortes. Afin d'avoir le plus de chances possibles de repérer une activité cérébrale de type visuel quand les sujets entendaient les mots, on leur demandait, d'une part, de nommer la couleur qu'ils avaient appris à associer à ce mot et d'autre part, de l'imaginer, c'est-à-dire de tenter de la visualiser mentalement. Si les synesthètes sont seulement des personnes ayant appris à associer de façon forte des mots et des couleurs, alors au prix d'un entraînement intense, nous devrions parvenir à obtenir le même résultat de la part de sujets communs, et à visualiser les traces d'une activation de la région V4/V8.

Concrètement, les sujets apprennent les associations en étant placés devant un ordinateur où s'affichent huit couleurs disposées sur une grille. En cliquant sur une couleur, le sujet déclenche à la fois l'énonciation d'un mot dans des écouteurs et l'apparition de la couleur sur toute la largeur de l'écran. Puis on teste le degré d'apprentissage : le sujet entend les mots isolés dans un ordre aléatoire et clique sur la couleur qu'il estime couplée à ce mot. Lorsque toutes les réponses sont correctes, on lui fait à nouveau passer les tests dans le scanner pour le familiariser avec l'environnement de l'expérience. Enfin, il repasse au test en conditions réelles. Le scanner IRM analyse son cerveau tandis que des mots sont prononcés : il doit tout d'abord se rappeler la couleur associée au mot, puis imaginer la couleur.

La région ciblée par le scanner est l'aire V4/V8 qui s'active aussi bien chez les personnes normales voyant des couleurs réelles que chez des synesthètes entendant les mots «déclencheurs». En dépit de ces tentatives d'apprentissage, nous n'avons trouvé, chez les non-synesthètes, aucune activation par les mots de la zone centrée sur la région V4/V8. De tels résultats ne correspondent pas à un défaut général de la stimulation – comme cela aurait pu se produire si les sujets n'avaient pas réagi aux stimulus – puisque le cortex auditif et les aires du langage, telle l'aire de Broca, sont activés (ces activations prouvent qu'il y avait bien un traitement cognitif des mots entendus). Ainsi, les expériences de synesthésie ne sont vraisemblablement pas la conséquence d'un apprentissage associatif qui aurait conduit à des associations particulièrement fortes. S'il en avait été ainsi, l'apprentissage intensif prodigué aux non-synesthètes aurait au moins conduit à une activation de la région V4/V8 lors de l'audition des mots énoncés.



2. LES CHIFFRES 2 sont difficiles à détecter parmi les 5 pour les non-synesthètes (à gauche). Au contraire, pour les synesthètes, les 2 se dégagent instantanément de la forêt des 5, car ils apparaissent, par exemple, en rouge, tandis que les 5 paraissent verts (à droite).