

Selon les psychologues Peter Grossenbacher et Chris Lovelace, 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

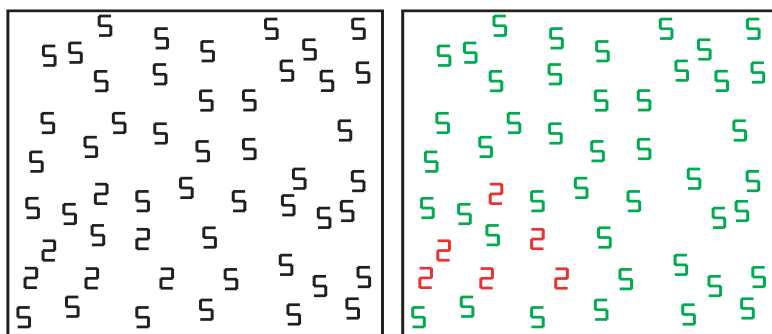
celui des personnes ayant d'autres types de synesthésie). Chez le synesthète, l'existence de cette projection anormale pourrait être due à une mutation génétique qui aurait pour effet soit d'entraîner la croissance de la projection, soit d'empêcher son élimination chez le tout jeune enfant (de nombreuses 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).

La musique ne remplace pas les mots

Les synesthètes et les non synesthètes différencieraient-ils par l'efficacité générale de leur processus d'apprentissage associatif? Dans ce cas, les synesthètes devraient apprendre plus vite que des sujets normaux une association nouvelle. Pour le savoir, nous avons utilisé des méthodes d'entraînement semblables à celles déjà décrites, mais en substituant aux associations mot/couleur des associations mélodie/couleur, et nous avons entraîné à la fois des synesthètes spécialisés dans l'association mots-couleurs (mais qui n'associent pas de couleurs à des sons) et des non-synesthètes. Puis nous les avons testés dans un scanner. Si les synesthètes sont sujets à des processus d'apprentissage associatif forts, alors, après entraînement, la même région V4/V8 qui est activée par des mots devrait l'être aussi par des mélodies.

Six couples mélodie/couleur ont été appris par les sujets. Les mélodies étaient extraites d'œuvres classiques de Chopin ou de Mozart, par exemple. Chacune était diffusée dans des écouteurs pendant quatre secondes, et la couleur associée apparaissait sur un écran d'ordinateur une demi-seconde après le début de la mélodie. Les résultats de l'expérience n'ont pas montré de différences notables dans la répartition des aires actives entre les synesthètes et les sujets de référence et, chez aucun des sujets, il n'y a d'activation notable de la région V4/V8. Ce résultat confirme que les synesthètes n'ont pas d'aptitude particulière à l'apprentissage associatif. En résumé, la région V4/V8 s'active chez les sujets de référence en réponse à des couleurs, et chez les synesthètes en réponse à la fois à des mots énoncés et à des couleurs ; en revanche, la région n'est activée dans aucun des deux groupes en réponse à des couleurs imaginées ou remémorées. L'expérience synesthésique de la couleur est donc un véritable percept, non pas le fruit d'une imagination débridée. Elle s'apparenterait davantage à ce que l'on appelle des effets rémanents de couleur ou de mouvement illusoire : ainsi, on voit parfois apparaître une image rémanente de couleur rouge lorsque l'on relève le regard après avoir fixé longtemps une tache verte.

Un fil tendu entre l'oreille et l'œil

Si l'on admet que toutes nos expériences démontrent bien qu'une connexion neuronale existe, chez les synesthètes, entre la perception auditive et la perception visuelle, une nouvelle question surgit : quelle est cette «connexion innée»? Dans cette hypothèse, des «branchements» neuronaux relieraient les aires de la perception auditive à celles de la perception visuelle. En synesthésie, les couleurs sont évoquées par des mots qu'ils soient énoncés (phonèmes) ou lus (graphèmes). La voie neuronale responsable de la perception de couleurs synesthésiques prendrait donc sa source dans les régions de représentation auditive et visuelle des phonèmes et des graphèmes. Les résultats que nous avons obtenus grâce à l'IRM fonctionnelle nous ont permis de préciser les hypothèses relatives au trajet probable de cette voie.

Dans nos expériences, en réponse à des mots énoncés, les synesthètes présentent une activation de la région du système visuel spécialisée dans la perception des couleurs, sans activation d'aucune autre zone située plus en amont dans le système visuel, par exemple les régions V1 ou V2, alors que de telles régions sont activées lorsqu'on présente aux sujets des stimulus visuels de

STIMULUS	COULEURS RÉELLES	COULEURS IMAGINÉES	MOTS
ACTIVITÉ CÉRÉBRALE			
SYNESTHÈTES AIRE V4-V8 GAUCHE	—	—	+
SYNESTHÈTES AIRE V4-V8 DROITE	+	—	—
TÉMOIN AIRE V4-V8 GAUCHE	+	—	—
TÉMOIN AIRE V4-V8 DROITE	+	—	—

3. LES AIRES du système visuel activées chez les synesthètes et chez les non-synesthètes diffèrent selon le type de stimulus perçu. Ainsi les mots activent uniquement l'aire V4/V8 gauche des synesthètes, laquelle est insensible aux couleurs réelles. Les mots n'activent pas l'aire V4/V8 droite des synesthètes et n'ont pas d'action chez les non-synesthètes.

couleur. Ce type d'activation – une activation des régions centrales des voies visuelles, tandis que les régions V1/V2 sont activées de façon plus manifeste par les couleurs «réelles» – a déjà été observée lors de travaux relatifs à des images rémanentes de couleur. Au contraire, comme nous l'avons montré, imaginer des couleurs ne suffit pas pour activer l'une quelconque de ces régions (V1/V2 ou V4/V8).

Ces résultats semblent conforter une hypothèse émise par les neuropsychologues et par des spécialistes de la perception visuelle, tel Semir Zeki, à l'Université de Londres, et Dominic ffytche, à l'Institut de psychiatrie de Londres : l'activation de modules du système visuel spécialisés dans l'analyse de caractéristiques particulières, tels que la région V4/V8 pour la couleur ou l'aire V5 pour le mouvement, serait à la fois nécessaire et suffisante pour que la caractéristique visuelle concernée soit perçue, c'est-à-dire qu'elle ne nécessiterait pas l'activation de régions situées en amont le long des voies visuelles. Cette généralisation est aussi en accord avec les couleurs hallucinatoires que perçoivent les personnes atteintes du syndrome de Charles Bonnet. Après une détérioration soudaine de la vision normale (due à un décollement de la rétine ou à un glaucome, par exemple), le patient fait l'expérience d'hallucinations visuelles involontaires très fortes, dont le contenu varie d'une personne à l'autre. Dans une expérience menée par D. ffytche et ses collègues, chaque patient décrit son expérience hallucinatoire pendant qu'il se trouve dans le scanner, indiquant le début et la fin de cette hallucination. On trouve une excellente corrélation entre le contenu des hallucinations et la région activée dans le système visuel.

Par exemple, des hallucinations de couleurs s'accompagnent d'une activation de la région V4, dans le gyrus fusiforme, des hallucinations de visages coïncident avec une activation d'une partie également très proche du gyrus fusiforme, spécialisée dans la perception des visages, et des hallucinations d'objets s'accompagnent d'une activation d'une autre région du même gyrus fusiforme. Il n'y a jamais d'activité dans la région V1. De ce point de vue, il apparaît alors que la synesthésie mot/couleur peut être considérée comme un exemple d'expérience illusoire où le stimulus déclenchant (le mot) intervient avec une fréquence très élevée en comparaison d'autres illusions (les images rémanentes de