

décennie, sur une ligne horizontale. Les participants avaient l'impression de jouer au «jeu de la vie», tandis que nous évaluions la précision de leur repérage temporel.

Comme prévu, les témoins ont mieux réussi que les patients amnésiques : ils ne se trompaient que de 1,9 an en moyenne. Les patients amnésiques faisaient beaucoup plus d'erreurs, surtout ceux qui souffraient d'une lésion du cerveau antérieur basal. Bien qu'ils se souviennent parfaitement de l'événement, ils se trompaient sur la date de 5,2 ans en moyenne. Toutefois leurs résultats étaient meilleurs que ceux des patients dont le lobe temporal était lésé, qui pourtant se trompaient moins quant au repérage temporel : ils se trompaient seulement de 2,9 ans en moyenne. On déduit de ces résultats que le repérage temporel et la remémoration des événements reposent sur des structures cérébrales ou sur des mécanismes différents. Qui plus est, le cerveau antérieur basal serait indispensable à l'établissement du contexte qui nous permet de replacer les souvenirs à la bonne époque, ce qui est en accord avec l'observation clinique des patients dont le cerveau antérieur basal est lésé. Contrairement aux personnes dont le lobe temporal est endommagé, ces patients peuvent encore mémoriser des faits nouveaux, mais ils s'en souviennent dans le désordre, reconstruisant des séquences d'événements qui peuvent changer d'une occasion à l'autre.

## La conscience à retardement

La plupart d'entre nous ne sont pas confrontés aux amnésies ou aux confusions chronologiques dont souffrent mes patients. Pourtant nous partageons tous un étrange décalage temporel mental, mis pour la première fois en évidence dans les années 1970 par le neurophysiologue Benjamin Libet, de l'Université de San Francisco. Dans une expérience, B. Libet remarqua qu'il existait un décalage entre le moment où un individu prenait conscience d'avoir décidé de plier son doigt (B. Libet enregistrait le moment précis de cette décision) et l'instant où les ondes cérébrales indiquaient que la flexion était imminente. L'activité cérébrale survenait un tiers de seconde avant que la personne n'ait décidé de bouger son doigt. Dans une autre expérience, B. Libet appliqua une faible décharge électrique sur le cortex de patients trépanés, anesthésiés localement, mais conscients. Le tremblement de la main déclenché par ce stimulus se produisait une demi-seconde après l'application du stimulus. Bien que l'interprétation de ces expériences et d'autres expériences menées dans le domaine de la neurobiologie de la conscience soit sujette à controverse, le travail de B. Libet montre qu'il existe un décalage entre le début des événements neuronaux aboutissant à la conscience et le moment où l'on est réellement conscient des conséquences de ces événements neuronaux.

Quelles peuvent être les causes de ce décalage ? Il faut du temps pour que les changements physiques constituant un événement se répercutent sur l'organisme et modifient l'état des détecteurs sensoriels d'un organe, par exemple la rétine. Il faut du temps pour que les modifications électrochimiques qui en résultent soient transmises, sous forme de signaux électriques, au système nerveux central. Il faut du temps pour engendrer un motif neural dans les cartes sensorielles du cerveau. Enfin, il faut du temps pour relier la carte neurale d'un événement et l'image mentale de cet événement à la carte neurale et à l'image de soi – c'est-à-dire à la notion de qui nous sommes – l'étape ultime sans laquelle l'événement ne sera jamais perçu consciemment.

Tout cela ne prend que quelques millisecondes, mais il y a néanmoins un décalage. Pourquoi nous ne sommes-nous pas conscients de ce décalage ? Peut-être parce que nous avons tous des cerveaux similaires qui fonctionnent de la même façon : nous avons tous une conscience «retardée», mais personne ne s'en aperçoit ! Ce pourrait être une interprétation parmi d'autres. Peut-être le cerveau instaure-t-il ses propres connexions lors du traitement central des événements et peut-être parvient-il à «antidater» certains événements : certains processus retardés apparaîtraient moins retardés et des processus présentant des décalages différents sembleraient être retardés de la même façon.

Cela expliquerait pourquoi nous avons l'impression que le temps et l'espace sont continus, alors même que nos yeux se déplacent d'un objet à l'autre par saccades. Nous ne remarquons ni le flou dû au mouvement des yeux ni le temps qu'ils leur faut pour se déplacer d'un endroit à un autre. Selon Patrick Haggard et John Rothwell, à Londres, le cerveau perçoit la cible près de 120 millisecondes avant que l'on n'ait conscience de l'objet, ce qui assure une vision continue. La capacité du cerveau à adapter nos expériences visuelles et à nous «faire croire» que nous avons pris une décision, alors même que les neurones correspondant à cette action sont déjà activés, indique une extrême précision temporelle.

## Les émotions distordent le temps

Cette précision semble parfois mise à mal : certaines émotions distordent notre perception du temps. Chacun a fait l'expérience de minutes qui paraissent interminables et de semaines qui passent trop vite. Quand nous sommes mal à l'aise ou inquiets, nous trouvons que le temps passe lentement, car nous nous focalisons sur les images «négatives» associées à notre anxiété. Diverses études ont montré que le cerveau produit des images plus rapidement quand nous vivons une expérience «positive» : c'est peut-être pourquoi le temps passe vite lorsque nous nous amusons. Au contraire, le rythme de production des images ralentit lors des émotions «négatives». J'ai récemment éprouvé un ralentissement étonnant du temps : j'étais à bord d'un avion et nous avons traversé une zone de fortes turbulences. Mon attention était focalisée sur les secousses – émotion «négative» – au point que le temps m'a semblé s'être arrêté. Ainsi, notre perception du temps est fondée sur des facteurs aussi variés que le contenu des événements perçus, les réactions émotionnelles déclenchées par ces événements, le rythme des images qui défilent ainsi que les perceptions conscientes ou inconscientes qui les accompagnent. Nous ne comprenons encore pas très bien comment nous percevons le temps, mais nous commençons à entrevoir pourquoi notre perception et notre conscience du temps dépendent tant des circonstances.

---

Antonio DAMASIO dirige le Département de neurologie de l'Université de l'Iowa, et il est professeur à l'Institut Salk d'Études biologiques de La Jolla.

A. DAMASIO, *L'erreur de Descartes*, Odile Jacob, 1997.

A. DAMASIO, *Le sentiment même de soi : Corps, émotion, conscience*, Odile Jacob, 1999.

A. DAMASIO, *Looking for Spinoza : Joy, Sorrow and the Feeling Brain*, Odile Jacob, à paraître.

---

# La synesthésie : entendre en couleurs

**JEFFREY GRAY**

*Certaines personnes ont une capacité naturelle à voir des couleurs quand ils entendent certains mots. La nature biologique de cette étonnante capacité a été élucidée : elle résulte de la convergence de plusieurs voies sensorielles, normalement séparées.*

*A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu : voyelles,  
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :  
A, noir corset velu de mouches éclatantes  
Qui bombinent autour des puanteurs cruelles  
Golfes d'ombres ; E, candeurs des vapeurs et des tentes,  
Lances des glaciers fiers, rois blancs, frissons d'ombrelles ;  
I, pourpres, sang craché, rire des lèvres belles  
Dans la colère ou les ivresses pénitentes...  
Les voyelles, Arthur Rimbaud*

**D**ans son poème, Athur Rimbaud évoquait un phénomène cher aux poètes de son temps, la synesthésie : des sons ou des mots, par exemple, font naître des sensations visuelles colorées. Ce phénomène est-il une simple invention poétique, une création de l'imagination ou, au contraire, une association physiologique extraordinaire ? Grâce aux techniques d'imagerie cérébrale, nous avons étudié certaines personnes chez qui cette caractéristique atteint un degré étonnant. Chez les «synesthètes naturels», l'association de mots et de couleurs dépasse notablement les associations que nous faisons parfois entre un mot et une teinte : ce n'est pas une madeleine de Proust colorée. Ces personnes voient réellement leur champ visuel se colorer de rouge en entendant le mot «escalier», ou de jaune en entendant le mot «liberté» : différents niveaux de conscience se mêlent et se superposent.

Nous avons étudié les régions du cerveau actives lors de telles associations, et nous avons découvert qu'une zone du cortex habituellement consacrée à la perception visuelle est activée par les nerfs auditifs, sans doute par le biais d'une connexion supplémentaire acquise de façon héréditaire. Une telle connexion pose des questions fondamentales sur les relations entre fonctions comportementales et états conscients.

## Une audition colorée

Chez un synesthète, ne présentant par ailleurs aucun autre trouble, la stimulation d'une modalité sensorielle provoque systématiquement la manifestation d'une sensation dans une autre modalité. Le mot vient du grec *syn* (avec) et *aïsthésis* (sensation). Les sens associés sont très variés : des sons peuvent

évoquer des couleurs ; des saveurs, des formes ; des couleurs, des odeurs ; la souffrance ou un orgasme sexuel peuvent évoquer des couleurs. Les types de synesthésie les plus courants sont ceux où des mots ou des nombres, qu'ils soient lus ou entendus, font apparaître des couleurs. Les synesthètes sont relativement rares : une personne sur 2 000 serait concernée, mais les estimations varient. Il y a environ six fois plus de femmes synesthètes que d'hommes. Dans une même famille, on trouve souvent plusieurs synesthètes, et la transmission se ferait par la mère. Tous décrivent leurs expériences de synesthésie comme remontant aussi loin que leurs plus lointains souvenirs. Si certains n'osent pas en parler, beaucoup apprécient leurs expériences de synesthésie. D'aucuns se prétendent synesthètes, mais sont des fabulateurs. Certains artistes, que ce soient des peintres, des écrivains ou des musiciens, ont affirmé avoir des expériences de synesthésie. Rimbaud, par exemple, malgré les qualités de son poème, cherchait des associations évocatrices, mais n'était pas synesthète. Par ailleurs, la plupart des artistes revendiquant leur synesthésie sont de sexe masculin... alors que la majorité des synesthètes sont des femmes ! Il existe bien sûr d'authentiques artistes synesthètes, tels le romancier Vladimir Nabokov. L'actuelle présidente de l'Association américaine de synesthésie, Carol Steen, est peintre et fait un excellent usage de ses expériences de synesthésie.

En 1907, Francis Galton, précurseur de la psychologie moderne, en fit une description détaillée : «Cette tendance est très héréditaire», et deux synesthètes ne s'accordent jamais «sur la couleur qu'ils associent au même mot». En 1993, Simon Baron-Cohen et ses collègues de l'Institut de psychiatrie de Londres ont démontré la fiabilité des associations entre des mots et des couleurs : on lisait une liste de mots à des personnes et on leur demandait de décrire la couleur qu'ils associaient à ces mots. À un an d'écart, ils décrivaient exactement les mêmes couleurs en association à ces mots (ils ignoraient qu'ils seraient à nouveau testés, et n'ont pas essayé de mémoriser les mots ni les couleurs).

Diverses expériences de psychologie ont révélé la puissance de la sensation synesthésique. Vilayanur Ramachandran et Edward Hubbard, à San Diego, ont présenté à des sujets un ensemble de 2 et de 5, tels que la typographie fait

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 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

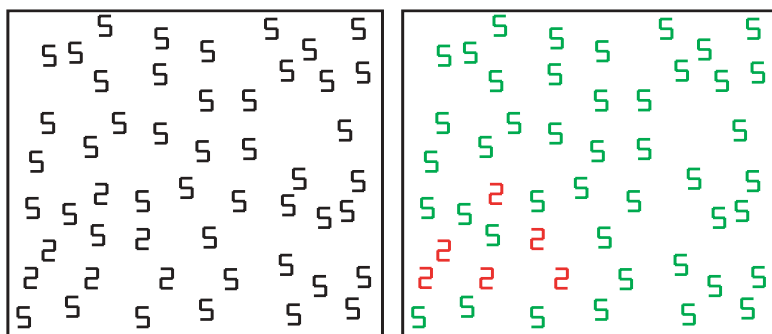
celui des personnes ayant d'autres types de synesthésie). Chez le synesthète, l'existence de cette projection anormale pourrait être due à une mutation génétique qui aurait pour effet soit d'entraîner la croissance de la projection, soit d'empêcher son élimination chez le tout jeune enfant (de nombreuses 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<br>AIRE V4-V8<br>GAUCHE | —                | —                  | +    |
| SYNESTHÈTES<br>AIRE V4-V8<br>DROITE | +                | —                  | —    |
| TÉMOIN<br>AIRE V4-V8<br>GAUCHE      | +                | —                  | —    |
| TÉMOIN<br>AIRE V4-V8<br>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

couleurs ou de mouvement dont la fréquence est faible). Dans tous ces cas, une fois que le module visuel approprié (la région V4/V8 pour la couleur, la région V5 pour le mouvement) est activé, l'expérience illusoire se produit.

Nous avons également constaté que, chez les synesthètes mot/couleur, l'activation ne se produit que dans la région V4/V8 gauche. Étant donné la latéralisation gauche du système cortical du langage, cette activation latéralisée est peut-être à mettre en relation avec le fait que ce sont des paroles plutôt que des sons en général qui déclenchent les expériences de couleur chez les synesthètes. Par ailleurs, en accord avec ces résultats, l'équipe de E. Paulesu a trouvé, dans son étude par neuro-imagerie TEP sur des synesthètes, une activation subliminale de la région V4/V8 gauche, mais pas de la droite. Ainsi, la projection anormale, supposée être à l'origine de la synesthésie mot/couleur, va du système cortical du langage latéralisé à gauche à la région V4/V8 gauche (voir la figure 4), sans solliciter les régions inférieures du système visuel.

Enfin, la région du cerveau activée par les couleurs réelles n'est identique chez les synesthètes et chez les non-synesthètes que dans l'hémisphère droit. La région V4/V8 de l'hémisphère gauche des synesthètes n'est pas activée par les couleurs réelles. Chez ces derniers, il y a nettement séparation des rôles : l'hémisphère droit prend en charge les couleurs réelles et l'hémisphère gauche les couleurs évoquées par des mots. Dès lors, on peut postuler qu'en synesthésie la projection anormale supposée du système cortical gauche du langage vers la région V4/V8 gauche empêcherait l'affectation normale de celle-ci à la vision des couleurs réelles.

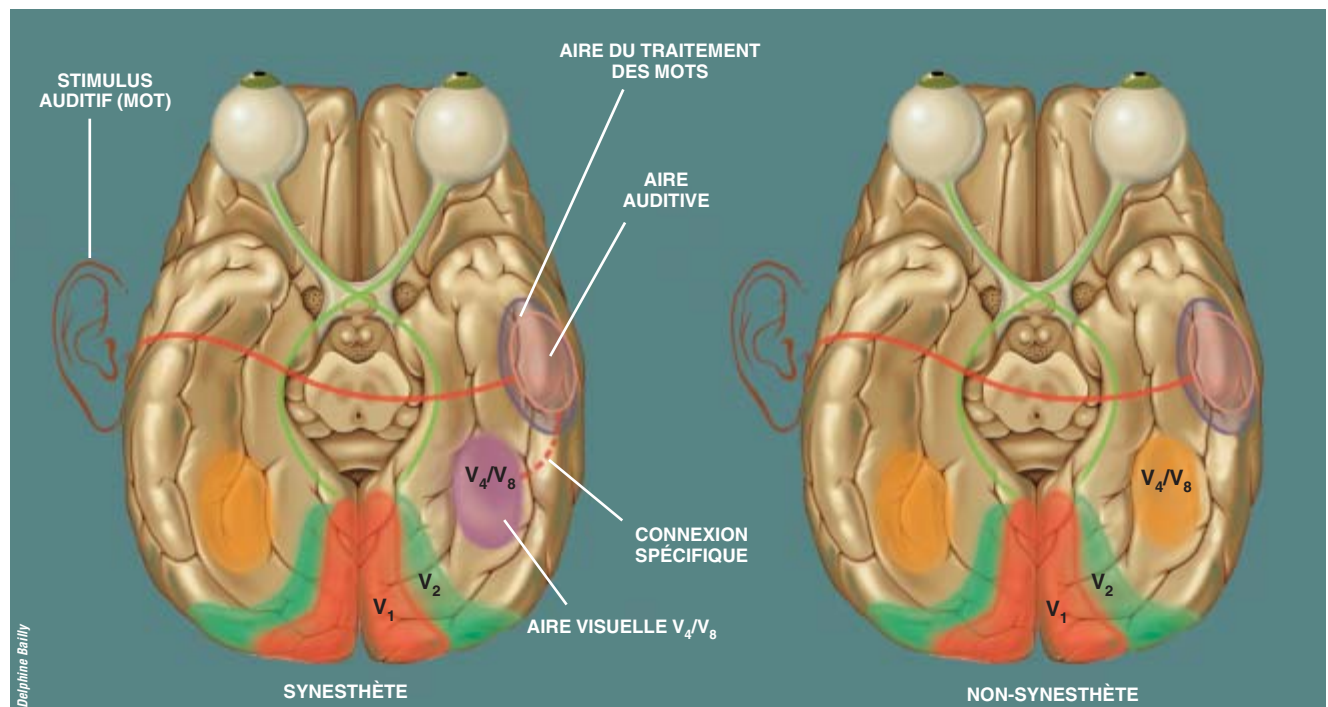
Ces résultats peuvent être résumés de la façon suivante : les synesthètes associant des couleurs aux mots auraient une projection supplémentaire anormale du système cortical du langage latéralisé à gauche vers la région de sélection des couleurs V4/V8 du système visuel, également

dans le cerveau gauche. Qu'un synesthète entende ou voie un mot, cette projection active la région de perception des couleurs. L'activation de cette région est suffisante pour déterminer une expérience de couleur consciente, dont la nature exacte dépend des neurones de la région V4/V8 activés.

## L'effet «fausse couleur»

Il n'y a aucune preuve que la couleur précisément exprimée dans le cadre d'une synesthésie joue un quelconque rôle fonctionnel dans le traitement auditif ou visuel des mots chez le synesthète. Au contraire, nous avons observé chez les synesthètes un effet particulier, perturbant, de la double perception son/couleur. Ce cas survient lorsque le nom des couleurs déclenche la perception d'une couleur différente de la couleur nommée. Par exemple, le mot «rouge» pourrait conduire à la perception de vert, le mot «jaune» à celle du rouge. Chez un synesthète donné, l'effet fausse-couleur peut concerner tout ou partie des noms de couleurs.

De même que pour la synesthésie en général, l'effet fausse-couleur semble présent dès la toute petite enfance. Les synesthètes apprennent normalement le nom des couleurs : la perception des couleurs apparaît normale, de même que leur désignation. Nous avons confirmé l'effet fausse-couleur de façon expérimentale en répartissant les synesthètes couleur/mot suivant leur sensibilité à l'effet fausse-couleur. Pour chaque sujet, nous avons évalué la proportion des noms de couleurs conduisant à des conflits entre la couleur évoquée et la couleur perçue. Nous avons ensuite mesuré la vitesse à laquelle ces individus sont capables de désigner différentes couleurs présentées. Un individu normal met plus de temps à identifier la couleur de l'encre d'un mot qui signifie une autre couleur : par exemple le mot *rouge* écrit en vert. Il met plus de temps à identifier la couleur de l'encre d'un tel mot que la couleur de l'encre d'une rangée de lettres arbitraires.



4. L'aire visuelle V4/V8 est activée chez un synesthète quand il entend un mot qui déclenche la visualisation d'une couleur. Le son active les aires auditives, lesquelles sont vraisemblablement connectées aux aires visuelles V4/V8 de l'hémisphère gauche (ici à

droite sur la vue de dessous) par une «connexion spécifique» qui n'existe pas chez les non-synesthètes. Normalement ces aires sont stimulées uniquement par les informations de couleur véhiculées par les voies visuelles (en vert).

Chez des synesthètes, cet effet devrait apparaître également avec un mot *évoquant* la couleur rouge, et non seulement avec le mot rouge lui-même.

Nous avons observé un tel retard chez les synesthètes affectés de l'effet fausse couleur, dans la désignation de la couleur de l'encre d'une rangée de lettres X quand le nom de la couleur évoque une couleur différente. En effet, la simple pensée de ce nom fait naître la sensation d'une couleur différente de celle de l'encre du mot. Un conflit conscient apparaît, se traduisant par un retard dans l'identification de la couleur. De telles observations confirment la réalité de l'effet fausse-couleur tel qu'il est décrit par les personnes qui en sont atteintes. Ces observations rendent très improbable que la synesthésie résulte d'un apprentissage associatif. Ainsi, la synesthésie est une condition inscrite en profondeur dans le cerveau, qui fait converger deux fonctions sensorielles vers un même état conscient. Ceci a une conséquence notable sur les liens entre fonctions neuronales et conscience.

## Le talon d'Achille du fonctionnalisme

Qu'est-ce qu'un état conscient? Les neurobiologistes interprètent le fait de voir une couleur rouge comme le résultat d'une somme de réactions neuronales. Or, la perception d'un son est également décrite comme des activités neuronales. Et pourtant, le son et la couleur rouge sont, aux «yeux de la conscience», qualitativement différents. C'est pourquoi on les nomme qualia (du latin *quale*, qui signifie «de quelle nature»): il ne suffit pas de décrire les activités physiologiques associées pour les définir. Certains philosophes et biologistes (la grande majorité, à vrai dire) prétendent analyser la conscience en faisant abstraction des qualia, trop subjectifs pour être objets de science. Ces «fonctionnalistes» éliminent de leur réflexion les qualia, tels le «rouge» et le «vert», et préfèrent s'intéresser aux réponses comportementales à travers lesquelles l'individu distingue le rouge et le vert. Dès lors, l'individu est considéré comme un ensemble d'entrées et sorties, dont seule la combinaison est un fait objectif. Ce qui se passe à l'intérieur n'est qu'illusion. Dans cette hypothèse, les qualia seraient des épiphénomènes liés aux fonctions de l'individu, tels sa parole, ses mouvements, ses actes. Il en résulte que deux qualia différents, entièrement définis par ces fonctions, doivent nécessairement correspondre à deux fonctions d'entrée et de sortie différentes. Inversement, à deux fonctions différentes sont associés deux qualia différents.

La synesthésie montre précisément le contraire. Lorsqu'une fonction visuelle et une fonction auditive convergent vers un même quale – en l'occurrence la perception des couleurs – il devient impossible d'affirmer que les qualia ne sont que les fonctions qu'ils sous-tendent. Ce serait aussi absurde que de dire que la température est identique à la hauteur du liquide dans le thermomètre. Cela suggère que les qualia ont leur existence propre, ce que les expériences des psychologues V. Ramachandran et E. Hubbard avaient déjà illustré. Ils ont étudié le cas d'un synesthète qui prétendait voir des nombres sous la forme de couleurs qu'il était impossible d'observer dans le monde réel. De telles couleurs, nommées, pour la circonstance, «martiennes», sont le signe d'une activité du cortex visuel qui a été détournée de sa fonction initiale de vision. Ce cas extraordinaire montre que l'état conscient «vision» existe en quelque sorte *per se*, indépendamment de la perception visuelle par l'œil lui-même.



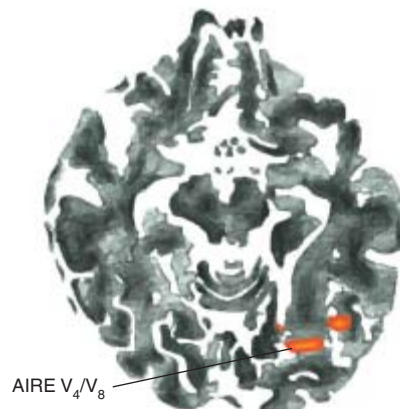
**5. L'EFFET FAUSSE-COULEUR.** Normalement, quand on cherche un escalier et que l'on découvre le panneau salvateur, on est satisfait. Sauf si l'on est synesthète et que l'on aperçoit un panneau, mais que le mot évoque une couleur différente de celle de l'encre avec laquelle il est écrit. Si le mot «escalier» évoque du violet et qu'il est écrit en jaune, le synesthète doit faire face à un conflit entre les deux mots qui risquent de se brouiller. Si le mot est écrit en violet, tout est cohérent. Une manifestation plus paradoxale de l'effet fausse-couleur apparaît lorsque le mot «rouge» évoque, par exemple, la sensation du vert.

En somme, on pourrait dire que l'évolution a favorisé l'apparition de structures neuronales destinées à analyser le monde par le biais de la lumière, mais que ces structures sont aptes à former des états de conscience ayant leur existence propre, disponibles pour être connectés à l'un ou l'autre aspect de la réalité. Aujourd'hui, on ignore si la perception de la couleur éveillée par les mots est exactement la même que celle éveillée par les objets. Nous travaillons avec un petit groupe de synesthètes entendant des couleurs, qui ont un talent artistique suffisant pour savoir dépeindre leurs expériences des couleurs en réponse à des mots spécifiques. Nous observons ces sujets en IRM fonctionnelle, afin de déterminer à quel point l'activation de la région V4/V8 par un mot et par l'image qui lui correspond se ressemblent. C'est une expérience difficile et peut-être hors de portée, compte tenu des limites techniques actuelles des méthodes de neuro-imagerie, mais nous espérons qu'elle va ouvrir la voie à une possibilité de vérifier objectivement notre hypothèse, à savoir qu'en synesthésie (dans les cas où des couleurs sont entendues), les perceptions conscientes du mot et de la couleur correspondante se ressemblent, voire sont identiques, bien que les voies fonctionnelles qui leur sont associées soient distinctes.

Contre cette interprétation, pourrait-on avancer que, chez les synesthètes associant des couleurs à des mots, la région V4/V8 gauche correspond aux couleurs synesthésiques, tandis que la région V4/V8 droite correspond aux couleurs perçues visuellement? On pourrait ainsi tenter de sauvegarder une explication fonctionnaliste de la synesthésie en affirmant qu'en fait les deux fonctions (qu'elles soient mises en œuvre par des mots énoncés ou par des couleurs observées) ne partagent pas un même état conscient, puisque l'une est associée à des états conscients formés dans la région V4/V8 gauche et l'autre à des états conscients formés dans la région V4/V8 droite. Le problème pour le fonctionnaliste, c'est que chacun des deux aboutit à une expérience de la couleur. En réalité, cette distribution des rôles attribuerait à deux substrats biologiques entièrement distincts (dans un cas, l'ensemble rétine-nerf optique-cortex visuel-aire V4/V8 droite; dans l'autre cas, l'ensemble oreille-nerf auditif-cortex auditif-projection de l'aire auditive dans l'aire visuelle-aire V4/V8 gauche) le même état de perception consciente. Dans ce cas, le lien unique entre une fonction donnée et un état conscient spécifique serait violé.



**6. LES AIRES CÉRÉBRALES** activées par des hallucinations visuelles ont été enregistrées. Des personnes ayant des hallucinations visuelles décrivent leurs hallucinations (à gauche, pour



**ce patient)** pendant l'examen. On constate que les hallucinations colorées activent les mêmes aires cérébrales que celles qu'activent certains mots «colorés» chez les synesthètes.

## Synesthésies et qualia

L'attribution d'états conscients à des substrats biologiques déterminés reste débattue. Au fil de l'évolution, le cerveau des hominidés s'est développé et le nombre des états conscients n'a cessé d'augmenter. Cependant, l'étude des synesthésies révèle que la sélection des qualia pourrait être distincte de celle des fonctions comportementales. En effet, quel est l'avantage évolutionniste procuré par l'effet fausse-couleur? La compréhension du langage a manifestement un rôle important pour la survie, de même que la vision des couleurs, mais on ne voit aucune explication naturelle au fait qu'un lien neuronal relie la perception de couleurs déclenchée à des mots : une telle disposition est, au mieux, fonctionnellement neutre, et dans le cas de l'effet fausse-couleur, désavantageuse. Peut-être les effets néfastes d'une éventuelle mutation génétique, cause des couleurs perçues par la voie auditive, n'ont-ils pas encore eu le temps de provoquer une sélection quelconque. Dans ce cas, les qualia et les fonctions organiques connaîtraient chacun leur propre dynamique évolutive.

Cette conclusion ne saurait être remise en cause par un caractère illusoire de la perception synesthétique. On admet en effet que les couleurs,

en tant que telles, ne sont pas des propriétés des objets perçus comme colorés : c'est la réflexion de la lumière incidente sur leur surface qui leur confère leur couleur. Il n'y a qu'une corrélation entre ces réflexions lumineuses – mesurées sur les surfaces ou traitées par le cerveau – et les impressions conscientes (les qualia) qu'en a l'individu. Ainsi, «entendre» les couleurs n'est pas plus absurde que de les «voir». En toute logique, les synesthètes entendant des couleurs n'en sont peut-être qu'à la première étape d'une voie évolutive qui pourrait mener à l'attribution de qualia de couleurs à des mots (si cette voie n'était déjà empruntée par le système visuel).

L'étude des synesthésies souligne que la recherche sur les liens entre cerveau et états conscients peut être menée de façon concrète en laboratoire, et pas seulement au travers d'expériences de pensée. Elle révèle surtout que les états conscients ont vraisemblablement leur existence et leur dynamique évolutive propre, souvent reliées à l'évolution des fonctions de l'organisme, mais pas par des liens nécessaires ou immuables. Le monde des qualia, ébranlé par le petit talon d'Achille qu'est la synesthésie, pourrait offrir aux chercheurs une nouvelle *terra incognita* dont l'exploration ne fait que commencer.

Jeffrey GRAY est professeur à l'Institut de Psychiatrie de Londres.

D. FFYTCHÉ *et al.*, *The anatomy of conscious vision: an fMRI study of visual hallucinations*, in *Nature Neuroscience*, vol. 1, pp. 738-742, 1998.

J. GRAY *et al.*, *Implications of Synaesthesia for Functionalism: Theory and Experiments*, *Journal of Consciousness Studies*, 2003, sous presse.

V. RAMACHANDRAN *et* E. Hubbard, *Synaesthesia - A Window into Perception, Thought and Language*, in *Journal of Consciousness Studies*, vol. 8 (12), pp. 3-34, 2001.

J. NUNN *et al.*, *Functional magnetic resonance imaging of synesthesia: activation of V4/V8 by spoken words*, in *Nature Neuroscience*, vol. 5, pp. 371-375, 2002.

R. E. CYTOWIC, *Synesthesia: A Union of the Senses*, deuxième édition, MIT Press, Cambridge Mass, 2002.

# Quelle conscience durant le coma?

STEVEN LAUREYS • MARIE-ÉLISABETH FAYMONVILLE • PIERRE MAQUET

*Comment déterminer l'état de conscience d'une personne dans le coma ?  
Les méthodes d'imagerie aident les médecins à évaluer les divers degrés  
de conscience des personnes ayant subi une grave lésion cérébrale.*

**P**arce que la médecine et, notamment, la réanimation et les soins intensifs ont progressé, le nombre de personnes qui survivent à une lésion cérébrale grave ne cesse d'augmenter. Certaines d'entre elles sortent du coma en quelques jours ; pour d'autres, les mécanismes de réparation sont beaucoup plus longs, et ces personnes traversent différentes phases avant de récupérer, partiellement ou totalement, leur état de conscience. D'autres enfin perdent définitivement toute activité cérébrale : c'est la mort cérébrale. Les médecins réanimateurs savent combien il est difficile de reconnaître sans ambiguïté les signes d'une perception ou d'une action consciente chez des personnes plongées dans le coma, cette difficulté se traduisant par de fréquents diagnostics erronés. On sait mal évaluer objectivement les fonctions cérébrales résiduelles après une lésion grave du cerveau, parce que les réactions motrices, qui permettent de communiquer, sont souvent, elles aussi, perturbées. De surcroît, la conscience n'est pas un phénomène de tout ou rien, mais plutôt un continuum d'états.

Comment évaluer l'état de conscience (ou d'absence de conscience) chez une personne autre que soi ? Sur quels critères pouvons-nous définir la conscience d'après un examen clinique ? Peut-on relier des états de conscience particuliers à des signes cliniques spécifiques dus à des lésions cérébrales graves ? Quel est l'apport des méthodes d'imagerie, telle la tomographie par émission de positons, lorsque l'on cherche à relier une lésion anatomique au trouble fonctionnel observé ? Les personnes ayant subi une lésion cérébrale grave peuvent être dans le coma profond, c'est-à-dire ni éveillées ni conscientes ; dans un état dit végétatif, c'est-à-dire éveillées, mais sans conscience ; dans un état de conscience minimale, c'est-à-dire éveillées et présentant des accès transitoires d'ébauches de conscience ; elles peuvent aussi présenter un syndrome dit *locked-in*, c'est-à-dire éveillées et conscientes, mais totalement paralysées. Enfin, elles peuvent être dans un état de mort cérébrale, c'est-à-dire de coma irréversible.

Nous examinerons ces cinq stades. Après en avoir donné la définition clinique, nous étudierons le fonctionnement du cerveau dans chacun de ces états. Nous nous intéresserons surtout aux personnes en état végétatif, parce qu'elles posent un important problème médical, en termes de diagnostic, de pronostic, de traitement et de soins quoti-

diens, et parce qu'elles permettent d'étudier la conscience humaine et d'identifier les supports neuronaux de la conscience ; chez les personnes en état végétatif, la conscience est abolie, mais contrairement aux patients dans le coma, elles sont éveillées.

## Connaissance de soi et conscience du monde

Le mot conscience vient du latin *conscio*, formé de *cum* (avec) et de *scio* (je sais). Cette racine latine fait référence à un savoir que l'on partage avec quelqu'un d'autre. La conscience serait la connaissance de soi et de son environnement. On parle de conscience de soi quand des stimulus ont un impact direct sur soi (avoir conscience du siège sur lequel on est assis) ; on parle aussi d'« idée de soi » (se reconnaître dans un miroir). Chez l'homme, cette conscience de soi apparaît vers l'âge de 15 mois. Elle se manifeste aussi chez certains animaux tels le chimpanzé et le dauphin, par exemple. La « conscience de la conscience de soi », c'est-à-dire la connaissance de soi en tant que personne dans un environnement social ou culturel, émergerait vers quatre ans. Pour le clinicien, la conscience nécessite à la fois l'éveil et la perception du monde extérieur (voir la figure 3).

Tout comme la conscience, qui représente un continuum d'états, l'éveil présente un continuum de comportements, du sommeil profond à l'éveil total. De surcroît, ce n'est pas non plus un mécanisme de tout ou rien : même durant le sommeil, nous restons sensibles au monde environnant et une stimulation extérieure intense, inattendue ou nouvelle peut nous éveiller : même durant le sommeil, la vigilance subsiste. Un patient est considéré en état d'éveil quand il ouvre spontanément les yeux pendant des périodes prolongées (plus d'une dizaine de minutes).

**1. LES PERSONNES ayant une lésion cérébrale grave présentent différents états de conscience : certaines sont éveillées, mais sans conscience ; certaines semblent dormir et ne réagissent pas au monde ; certaines ont de brèves phases d'éveil où l'on peut détecter quelques réactions intentionnelles ; d'autres encore sont parfaitement conscientes, mais ne peuvent communiquer, car leur corps est totalement immobile. Les progrès réalisés dans l'identification des états de conscience de ces patients devraient aider les médecins à poser leur diagnostic. Un patient dans le coma peut recouvrer la conscience, comme si « quelqu'un » avait allumé la lumière dans le cerveau endormi, rétablissant le fonctionnement des connexions cérébrales.**